

Academia Brasileira de Ciências  
Contribuições para a Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação

---

# Memória da Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação

Brasília, 18 a 21 de setembro de 2001

**CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE**

**Presidente**

Evando Mirra de Paula e Silva

**Diretores**

Lúcia Carvalho Pinto de Melo

Marcio de Miranda Santos

Marisa Barbar Cassim

Roberto Vermulm

**MEMÓRIA DA CONFERÊNCIA NACIONAL DE  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**Coordenação**

Cylon Gonçalves da Silva

Lúcia Carvalho Pinto de Melo

Tatiana de Carvalho Pires

**Supervisão**

Antonio José Junqueira Botelho

Antônio Márcio Buainain

**Equipe de relatores e redatores**

Denise Dalescio Sá Teles, Flávia Maia Jesini, Henriqueta Lacourt Borba,  
Leonardo Genofre, Maria Elisa Totoli, Nathália Kneipp Sena, Suely Martins da Silva

**Colaboradores**

Hulda Giesbrecht (Abipti), Maria Izabel da Costa Fonseca (CGEE),  
Marilda Nascimento (ABC), Simone Scholze (MCT), Tânia Mendes (MCT)

**REVISTA PARCERIAS ESTRATÉGICAS**  
**EDIÇÃO ESPECIAL**

**Editora**

Tatiana de Carvalho Pires

**Editora assistente**

Nathália Kneipp Sena

**Arte e diagramação**

Eugênia Dé Carli de Almeida

**Colaboradores**

Flávia Maia Jesini, Janice Jenné, Rainaldo Amancio e Silva

**Capa e projeto gráfico**

Anderson Moraes

**REVISTA PARCERIAS ESTRATÉGICAS**

*Endereço para correspondência:*

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE

SCN Quadra 2 Bloco A Edifício Corporate Financial Center salas 1002/1003

Tel: (0xx61) 424-9600 / 411-5112 Fax: (0xx61) 424-9671

e-mail: editoria@cgee.org.br

URL: <http://www.cgee.org.br>

---

Parcerias estratégicas / Ministério da Ciência e Tecnologia, Centro de Estudos  
Estratégicos, Academia Brasileira de Ciências. — Ed. especial. — v. 4, n. 14  
(junho 2002) — Brasília : MCT; CGEE; ABC, 2002 -

4 v. ; 25 cm.

Trimestral.

Ed. especial da Memória da Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e

Inovação: memória.

ISSN 1413-9375

1. Política e governo - Brasil. 2. Inovação tecnológica. I. Ministério da  
Ciência e Tecnologia. II. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. III.  
Academia Brasileira de Ciências.

CDU 323:5/6(81)(05)

Todos os direitos reservados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Os textos desta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados e transmitidos desde que não sejam usados para fins comerciais.

**CONFERÊNCIA NACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
BRASÍLIA, 18 A 21 DE SETEMBRO DE 2001**

**Ministro da Ciência e Tecnologia**

Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg

**Secretário Executivo do Ministério da Ciência e Tecnologia**

Carlos Américo Pacheco

**Presidente da Academia Brasileira de Ciências**

Eduardo Moacyr Krieger

**Coordenação Geral da Conferência Nacional de CT&I**

Cylon Gonçalves da Silva

Lúcia Carvalho Pinto de Melo

**Comitê de Programa**

Carlos Henrique de Brito Cruz (Fapesp)

Celso Pinto de Melo (CNPq)

Elisa Pereira Reis (UFRJ)

Francisco Mauro Salzano (UFRGS)

Guilherme Emrich (Biobrás)

João Alziro Herz da Jornada (Inmetro)

João Lucas Marques Barbosa (UFCE)

José Márcio Correa Ayres (Mamirauá)

Manoel Barral Neto (UFBA)

Maria José Gazzzi Salum (UFMG)

Maurício Antônio Lopes (Embrapa)

Paulo Arruda (Unicamp)

Pedro Wongtschowski (Oxiten)

Renato Janine Ribeiro (USP)

Sérgio Machado Rezende (UFPE)

Waldimir Pirró e Longo (MCT)

**Comitê Executivo**

Ione Egler (COORDENADORA)

Alfredo Henrique Costa Filho

Antônio Márcio Buainain

Betty S. Abramowitz

Guilherme Euclides Brandão

Hulda Giesbrecht

Irma Rosseto Passoni

Leonor Moreira Câmara

Paulo de Goés Filho

Paulo César Gonçalves Egler

Reinaldo Dias Ferraz

Tatiana de Carvalho Pires

**Colaboradores do Comitê Executivo**

Adhara Cruz Soares Pinto  
Alessandra Beatriz Rodrigues de Castro  
Anderson Moraes  
Antonio José Junqueira Botelho  
Carlos Henrique Cardim  
Célia Maria Queiroga Maciel  
Érica Batista Vargas  
Fábio Celso Guimarães  
Fernando Luz de Azevedo  
Flávia Maia Jesini  
Henriqueta Lacourt Borba  
Hulda Oliveira Giesbrecht  
Isabel Tavares  
Lélio Fellows Filho  
Leonardo Genofre  
Liney Toledo Soares  
Lúcia Helena Neves  
Maria das Graças Ibanez  
Maria Izabel da Costa Fonseca  
Maria Laura da Rocha  
Mônica Geovanini da Silva  
Raimundo Tadeu Correa  
Ricardo Pedreira  
Roberto Medeiros  
Rosângela Santiago Braga  
Ruy de Quadros Carvalho  
Sandra Hollanda  
Simone H. Cossetin Scholze  
Sinésio Pires Ferreira  
Taísa Guimarães  
Tania Mendes  
Tomás Bruginski de Paula

**Equipe de relatoria**

Ana Maria Pereira  
Ana Priscila Almeida  
Arlete H. Moraes  
C. Stephannie Wilberg  
Carlos Lombardi  
Carlos S. Amorim Jº  
Cristina M. M. Reis  
Dalci M. dos Santos  
Denise Sá T. Couto  
Dulcinéria D. G. Galvão  
Elaine Maia  
Eliana C. Azambuja  
Francisco Mariano R. S. Lima  
Fernando Kneese

Gabriela Teixeira  
Giovana Bottura  
Joel Weisz  
José G. Aucélio  
Leonor Câmara  
Liliana V. de Salvo Sousa  
Luciana L. Capanema  
Lucilene Velo  
Ludmila Brito Ribeiro  
Luis Blank  
Maria Aparecida H. Cagnin  
Maria Cláudia M. Diogo  
Maria Elisa N. Tótolli  
Maria Izabel C. Tavares  
Maria Luiza B. Alves  
Maria Sylvia Derenusson  
Martins da Silva  
Nathália Kneipp Sena  
Patrícia Morgantti  
Renato Silva Dantas  
Ricardo Sales  
Silvana A. F. Medeiros

**Workshops: Diretrizes Estratégicas para Ciência, Tecnologia e Inovação - DECTI  
Brasília, novembro/dezembro 2000 - janeiro/fevereiro 2001**

Ronaldo Mota Sardenberg, Ministro da Ciência e Tecnologia  
Abílio Afonso Baeta Neves (Capes)  
Alberto Duque Portugal (Embrapa)  
Alcir Monticelli (Unicamp)  
Alice Rangel de Paiva Abreu (CNPq)  
Ana Lúcia Gazzola (UFMG)  
Antônio Sérgio Pizarro Fragomeni (MCT)  
Armando Mariante Carvalho (Inmetro)  
Armando Mendes (UFPA)  
Carlos Alberto Eiras Garcia (FURG)  
Carlos Américo Pacheco (MCT)  
Carlos Gastaldoni (BNDES)  
Carlos Henrique Cardim (MRE)  
Carlos Henrique de Brito Cruz (Unicamp)  
Carlos Sérgio Asinelli (IEL/CNI)  
Carlos Vogt (Unicamp)  
Celso Pinto (Jornal Valor)  
Cláudio Cavalcante Ribeiro (C&T/PA)  
Edson Vaz Musa (EVM)  
Eduardo Moacyr Krieger (ABC/Incor)  
Elisa Pereira Reis (UFRJ)  
Elói Souza Garcia (Fiocruz)  
Eric Jan Roorda (Procomp)  
Esper Abrão Cavaleiro (MCT)

Evando Mirra de Paula e Silva (CNPq)  
Fábio Veras (Fiemg)  
Fernando Neri (Módulo)  
Francisco Ariosto Holanda (Secitece)  
Francisco César Sá Barreto (UFMG)  
Francisco Landi (Fapesp)  
Guilherme Emrich (Biobrás)  
Helio Guedes de Campos Barros (MCT)  
Herman Wever (Siemens)  
Isaías de Carvalho Macedo (Copersucar)  
João Alziro Hertz da Jornada (Inmetro)  
João Carlos Ferraz (UFRJ)  
João Evangelista Steiner (MCT)  
José Antônio Pimenta Bueno (NEP)  
José Augusto Coelho Fernandes (CNI)  
José Ellis Ripper Filho (Asga)  
José Galizia Tundisi (IIE/UFSCar)  
José Seixas Lourenço (MCT)  
Kurt Politzer (Abiquim)  
Ladislau Cid (Embraer)  
Lauro T. G. Fortes (AEB)  
Leopoldo de Meis (UFRJ)  
Luiz Bevilacqua (LNCC)  
Luiz Hildebrando Pereira da Silva (Cepem)  
Lynaldo Cavalcanti (Abipti)  
Manoel Abílio de Queiroz (Embrapa)  
Manoel Barral Netto (UFBA)  
Marcelo Coelho (Folha de S. Paulo)  
Marco Antônio Raupp (LNCC)  
Marisa Barbar Cassim (MCT)  
Mauricio Mendonça (MCT)  
Mauro Marcondes Rodrigues (Finep)  
Mauro Miaguti (Fiesp)  
Múcio Roberto Dias (AEB)  
Murilo Flores (Embrapa)  
Nassim Gabriel Mehedff (MT/SPPG)  
Nelson Brasil (Abifina)  
Orestes Marracini Gonçalves (USP)  
Paulo Arruda (Unicamp)  
Paulo Haddad (PHORUM)  
Paulo Kliass (MCT)  
Pedro Carajilescov (UNF/ANE)  
Pedro Wongtschowski (Oxitenó)  
Plínio Assmann (IPT)  
Ramiro Wahrhaftig (C&T/PR)  
Renato Janine Ribeiro (USP)  
Roberto Freire (Senado Federal)  
Roberto Sbragia (Anpei)  
Ruy Coutinho do Nascimento (BNDES)

Ruy de Araújo Caldas (Embrapa)  
Sandoval Carneiro (Coppe/UFRJ)  
Sérgio Danilo J. Pena (UFMG)  
Sérgio Machado Rezende (UFPE)  
Stefan Bogdan Salej (Fiemg)  
Vanda Regina T. Scarterzini (MCT)  
Waldimir Pirró e Longo (ON/MCT)

### **Reuniões Regionais Preparatórias**

#### COORDENAÇÃO

Hulda Giesbrecht (Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica - Abipti)  
Leonor Moreira Câmara (Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT)

#### COMITÊS REGIONAIS

Sérgio Duarte de Castro (Secretaria Estadual de Ciência e Tecnologia do Estado de Goiás)  
Ednaldo Fonseca Sarmento (Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado de Alagoas)  
Cláudio Cavalcanti Ribeiro (Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará)  
Pedricto Rocha Filho (Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro)  
Marcílio César de Andrade (Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Minas Gerais)  
Paulo de Tarso Mendes Luna (Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado de Santa Catarina)  
Carlos Henrique de Brito Cruz (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo)

### **Livro Verde da Ciência, Tecnologia e Inovação**

#### COORDENAÇÃO

Cylon Gonçalves da Silva  
Lúcia Carvalho Pinto de Melo

#### GRUPO DE CONCEPÇÃO E REDAÇÃO

Antônio José Junqueira Botelho (PUC-Rio)  
Antônio Márcio Buainain (Unicamp)  
Ruy Quadros de Carvalho (Unicamp)  
Sérgio Salles Filho (Unicamp)



# PARCERIAS ESTRATÉGICAS

Junho/2002 • Edição Especial • Volume 4 • Academia Brasileira de Ciências  
Contribuições para a Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação

---

## Sumário

### APRESENTAÇÕES

#### **Prefácio**

*Eduardo Moacyr Krieger* ..... 3

#### **A situação atual e as perspectivas futuras da Ciência e Tecnologia no País**

*Antônio Carlos Campos de Carvalho* ..... 7

### ARTIGOS

#### **Área de Ciências Agrárias**

*José Roberto Postali Parra, Ernesto Paterniani, Julio Marcos Filho,  
Raul Machado Neto* ..... 11

#### **Área de Ciências Biológicas**

*Henrique Krieger, Bernardo Beiguelman, Erney Plessmann de  
Camargo, Milton Krieger, Sergio Antonio Vanin* ..... 33

#### **Área de Ciências Biomédicas**

*Walter Zin, Dora Fix Ventura, Hernan Chaimovich, Jacqueline Leta* ..... 51

#### **Área de Ciências da Engenharia**

*José Augusto P. Aranha, Hans Ingo Weber, Hélio Waldman, Luiz  
Fernando Soares* ..... 73

#### **Área de Ciências Físicas**

*Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho, Alaor Silvério Chaves,  
Humberto Siqueira Brandi, Luiz Nunes de Oliveira, Marcus  
Venicius Cougo Pinto, Paulo Murilo Castro de Oliveira, Sergio  
Machado Rezende* ..... 87

**Área de Ciências Humanas**

*Elisa Pereira Reis, Paulo de Góes Filho ..... 109*

**Área de Ciências Matemáticas**

*Aron Simis, Carlos Tomei, Nelson Maculan Filho, Suely Druck ..... 123*

**Área de Ciências Químicas**

*Angelo da Cunha Pinto, Alfredo Arnóbio S. da Gama, Elias Ayres  
Guidetti Zagatto, Massuo J. Kato..... 145*

**Área de Ciências da Saúde**

*Marco Antonio Zago, Jair J. Mari, José da Rocha Carneiro, Luis  
Jacintho da Silva, Protásio Lemos da Luz..... 161*

**Área de Ciências da Terra**

*Roberto Dall'Agnol, Ari Roisenberg, João Batista Corrêa da Silva,  
Pedro Leite da Silva Dias, Reinhardt Adolfo Fuck ..... 207*

*Academia Brasileira de Ciências*  
*Prefácio*

A CONFERÊNCIA NACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO representou um marco no processo de planejamento estratégico do setor no País. No evento, estabeleceram-se compromissos entre os principais atores engajados na tarefa de consolidar a ciência, a tecnologia e a inovação como instrumentos efetivos de mudança do quadro de carências econômicas e sociais do Brasil, tendo como referência as demandas da sociedade e os recursos de que se dispõe para atendê-las.

Os debates envolveram o governo e a comunidade científica e tecnológica, introduziram como novidade o diálogo com outros segmentos da sociedade civil até agora pouco presentes nesse tipo de discussão, especialmente, o empresariado nacional e o chamado terceiro setor do País. Para os agentes envolvidos, foi importante não só conhecer as percepções de toda a sociedade sobre o valor de C,T&I, mas engajá-las em ações de longo prazo, como parte de sua agenda para o futuro.

Esse esforço tem lugar num contexto de mudanças rápidas no campo de C&T em que novos paradigmas como sustentabilidade e ética presidem as decisões, as políticas e as ações dos que produzem e consomem conhecimento.

Tanto o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) quanto a Academia Brasileira de Ciências (ABC) estão conscientes de que é fundamental estabelecer um elenco de prioridades, mas, sobretudo, identificar as potencialidades e as fragilidades existentes. A Conferência foi o momento em que, de forma franca, discutiu-se maneiras de aumentar o potencial de competitividade e estratégias para a superação das deficiências, assumindo compromissos viáveis e conscientes.

O Brasil já atingiu uma posição ímpar entre os países em desenvolvimento quanto à produção de ciência e na formação de recursos humanos, e é imprescindível que esse investimento seja capitalizado em benefício de toda a sociedade. Além de estar envolvida em todas as etapas da realização da Conferência, a ABC contribuiu com o presente documento que é o retrato da situação atual e as perspectivas futuras para a Ciência e Tecnologia, além de realizar uma avaliação sobre as suas diversas áreas de atuação. Os artigos apresentados descrevem o atual estado da arte de áreas e disciplinas no Brasil, cotejando o que fazemos com o que ocorre em outros países, seu impacto socioeconômico e as perspectivas de desenvolvimento nos próxi-

mos dez anos, identificando, igualmente, as áreas de fraco desempenho e estrangulamento.

O perfil da nossa ciência é muito parecido com o da ciência internacional. As ciências da vida, biológica, biomédica e medicina correspondem em aproximadamente 50% da produção internacional de ciência. Dos artigos indexados, mais de 50% pertencem à ciência da vida e, no Brasil, acima de 50% da nossa produção está concentrada nessa área. Quanto à química brasileira, apesar dos problemas existentes, a participação é de 8% da produção, quando a proporção internacional é de 11%.

Já a física no Brasil tem uma representação acima da média internacional. É considerada a área que o País tem maior desenvolvimento: 18% da produção brasileira, de nível internacional, vem da física, quando no mundo essa contribuição é de 12%. Outro exemplo ocorre na matemática, onde a participação é de 2% tanto no Brasil quanto no exterior.

A engenharia é a área que tem menor representação, e que reflete no problema de mercado de trabalho. Ou seja, o aumento do número de engenheiros na graduação e pós-graduação depende da demanda do mercado, e isto ocorre em função de distorções no processo de industrialização do País. Atualmente, os cursos de engenharia no Brasil apresentam uma redução de 9,7% alunos, e, em países industrializados, esse número chega a 30%. Outra notável diferença no Brasil vem da área de ciências humanas. Enquanto as ciências humanas e as artes no exterior representam 10% dos artigos; no Brasil, a produção é considerada boa, mas não atinge o nível do mercado internacional.

Portanto, o porte da ciência desenvolvida no País é ainda pequeno em relação a nossa população e apresenta um perfil razoável se comparado ao panorama internacional, com as ressalvas para as diferenças nos números citadas acima.

Ao falarmos do aumento da capacidade científica nacional, torna-se evidente que precisamos de recursos humanos para todos os setores. Em síntese, a ciência brasileira é de pequeno porte e de boa qualidade, e o desenvolvimento ser recente. O problema maior é o número de pesquisadores e a distribuição por área, que pode ser conferido nos artigos apresentados nesta edição.

Outro ponto a destacar é a capacidade da Ciência e Tecnologia de melhorar a qualidade de vida das pessoas, e que não poderá ser plenamente potencializada se o público, de uma maneira geral, não compreender melhor o sentido da Ciência e Tecnologia. Com uma população analfabeta cientificamente é difícil pensar qualquer perspectiva de um mundo melhor.

O futuro do Brasil – sua habilidade de criar uma sociedade justa e de promover o desenvolvimento social e econômico – depende, em grande par-

te, da garantia de uma educação de qualidade para a população. Depende, também, do cenário internacional que se apresenta extremamente competitivo, e a capacidade de absorver, dominar e se aperfeiçoar para as suas necessidades e para as inovações tecnológicas geradas nas economias industrializadas. Em boa medida, essas questões estão intrinsecamente relacionadas ao nível educacional dos trabalhadores brasileiros. Somente a adoção de uma postura ativa no que diz respeito ao aprendizado tecnológico permitirá ao País uma consistente elevação na sua produtividade e na melhoria da qualidade da produção nacional.

Finalmente, o documento que está sendo publicado nesta edição especial da revista *Parcerias Estratégicas* é a contribuição de nossos cientistas para o Livro Branco de CT&I, guia para o desenvolvimento do setor para esta década. A Academia Brasileira de Ciências, ao aceitar a incumbência de organizar a Conferência, em parceria com o Ministério da Ciência e Tecnologia e suas agências, insere-se nessa nova ordem mundial que orienta o papel das Academias de todo mundo no comprometimento de fazer da ciência um investimento rentável e de qualidade para toda a sociedade.

*EDUARDO MOACY KRIEGER*  
Presidente da Academia  
Brasileira de Ciências



## A situação atual e as perspectivas futuras da Ciência e Tecnologia no País

A Academia Brasileira de Ciências (ABC) delegou-me a honrosa tarefa de coordenar a elaboração de um documento sobre a situação atual e as perspectivas futuras da Ciência e Tecnologia no País. Os dados coletados foram apresentados à Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, em setembro do ano passado, e agora o conjunto está sendo publicado na edição especial da revista *Parcerias Estratégicas*, do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).

Na ocasião, decidiu-se que o documento deveria conter uma avaliação sobre as diversas áreas de atuação da ABC em Ciência e Tecnologia, designando-se para tanto um Coordenador por área do conhecimento, que foi o responsável pela elaboração do documento específico em conjunto com outros colegas de sua livre escolha. Os documentos de área contêm uma avaliação do estado da arte atual do setor e de suas disciplinas no Brasil e no mundo, seu impacto sócio-econômico entre nós, e uma avaliação das perspectivas de desenvolvimento da área para os próximos dez anos.

As áreas e coordenadores que aceitaram este desafio estão listados abaixo:

- Ciências Agrárias – José Roberto Postali Parra
- Ciências Biológicas – Henrique Krieger
- Ciências Biomédicas – Walter Araújo Zin
- Ciências da Engenharia – José Augusto Penteado Aranha
- Ciências Físicas – Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho
- Ciências Humanas – Elisa Pereira Reis
- Ciências Matemáticas – Aron Simis
- Ciências Químicas – Angelo da Cunha Pinto
- Ciências da Saúde – Marco Antonio Zago
- Ciências da Terra – Roberto Dall’Agnol

O modelo seguido para a estruturação do documento e o tempo exigido para sua elaboração resultaram em inevitável heterogeneidade, refletindo também a diversidade das áreas. Nestas circunstâncias, mais razões temos para nos surpreender com o grau de convergência que o leitor perceberá em torno de alguns pontos nos diversos documentos, que, a nosso ver, merecem destaque especial.

Inicialmente, o papel fundamental da pós-graduação para a expansão e consolidação do sistema de C&T no País é unanimemente reconhecido. O modelo funcionou com alta eficiência, permitindo a capacitação de recursos humanos e a inserção de nossa produção científica nas estatísticas mundiais. O número de doutores formados atingiu a casa dos cinco mil/ano na pós-graduação brasileira, e a produção indexada de artigos plenos ultrapassa os 8.500 nas dez áreas temáticas da ABC no ano de 2000. O crescimento é substancial e se fez com aumento de qualidade; o índice de impacto das publicações aumenta continuamente desde 1981, atingindo em 1998 a marca de 2,67 citações por artigo publicado. O sucesso retumbante do modelo até aqui vigente não deve, entretanto, embotar nossa visão para a necessidade contínua de sua evolução, tanto quantitativa como qualitativamente.

Outro ponto consensual nos documentos de área diz respeito à necessidade de aprimorarmos nosso sistema educacional primário e secundário, com especial ênfase na área de educação em ciência. A necessidade de cultivar jovens talentos e aprimorar a base científica de nossos professores secundaristas é inquestionável e a disposição demonstrada por várias sociedades científicas e pela própria ABC de se envolverem na elaboração de grandes projetos de educação em ciência deveria ser apoiada pelas instâncias educacionais federal, estadual e municipal. Ciência e Tecnologia não se tornarão itens da agenda do País se tivermos uma sociedade cientificamente iletrada.

No âmbito do ensino de terceiro grau, destaca-se a convergência de opiniões sobre a necessidade cada vez mais premente de integrar ensino e pesquisa, em função do vertiginoso processo de acumulação de conhecimento. É necessário ensinar a aprender, e nada melhor que o método científico para capacitar um profissional a enfrentar os desafios de um mercado de trabalho em constante mutação. O paradigma legado por nossos saudosos mestres, como Carlos Chagas Filho, de que se ensina por que se pesquisa, ganhou ainda mais atualidade, de fato tornou-se imperioso.

A necessidade de multidisciplinaridade na pesquisa científica foi outro ponto comum a todos os documentos de área. A urgência de passar das palavras à ação deveria nos fazer repensar a estruturação de todo nosso sistema universitário, ainda baseado nas clássicas divisões temáticas entre ciências exatas, biológicas e humanas. A possibilidade de formar graduados com uma boa base nas três áreas possibilitaria avanços significativos no grau de multidisciplinaridade da pesquisa desenvolvida em nosso País, além de permitir uma rápida expansão do sistema universitário público, necessária para fazer frente ao crescente contingente de egressos do segundo grau.

O reconhecimento do elevado grau de concentração regional de nosso sistema de C&T perpassa também todas as análises. Esta concentração é



reconhecida como altamente prejudicial ao sistema como um todo e as iniciativas do Ministério da Ciência e Tecnologia para minorar o problema são reconhecidas e estimuladas por todos os documentos de área. Uma política integrada com o Ministério da Educação, responsável pelo sistema de universidades federais, onde se concentra percentual expressivo da capacidade científica nacional, poderia mais rapidamente transformar esta realidade, ajudando a combater as disparidades socio-econômicas que dividem nossa nação.

Por fim, a necessidade de acoplar nosso desenvolvimento científico-tecnológico a uma política industrial é considerada como ponto fundamental para a sustentação e expansão do sistema de C&T, e para o progresso do País. Nota-se que a falta de uma política de desenvolvimento nacional (e não nacionalista) constitui um entrave insuperável para o sistema de C&T e para o próprio desenvolvimento sócio-econômico. O diminuto registro de patentes frente à produção expressiva de artigos científicos não pode ser atribuída a um desequilíbrio do sistema de C&T, mas deve ser debitada à ausência de políticas de desenvolvimento industrial. Sem uma agenda de desenvolvimento nacional não haverá espaço para que os doutores formados pelo sistema de C&T possam desenvolver patentes nas indústrias nacionais, multinacionais ou transnacionais; não haverá meios para que a ciência possa agregar valor aos produtos brasileiros exportados, perpetuando os déficits em nossa balança de pagamentos e aumentando nossa dívida. O desenvolvimento harmônico dos sistemas de produção e de C&T é necessário e suficiente para criar o ciclo virtuoso que nos permitirá atingir o grau de desenvolvimento sócio-econômico que anseamos poder oferecer a nosso povo.

### **O Autor**

ANTONIO CARLOS CAMPOS DE CARVALHO (coordenador-geral dos trabalhos). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor pelo Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho e professor na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).



# Área de Ciências Agrárias

JOSÉ ROBERTO POSTALI PARRA

ERNESTO PATERNIANI

JULIO MARCOS FILHO

RAUL MACHADO NETO

## **IMPORTÂNCIA DA AGRICULTURA PARA O BRASIL**

Uma análise adequada das Ciências Agrárias deve, necessariamente, considerar as suas interfaces com outras áreas do conhecimento, como Ciências Biológicas, Ciências Exatas e da Terra e ainda as Ciências Sociais e Aplicadas, especialmente a Economia (Azevedo, 1993). Muito embora órgãos financiadores de pesquisa, como o CNPq, incluam as Ciências Agrárias como atividade isolada, é essencial reconhecer sua complexidade em função das demais áreas com as quais apresenta significativas interações.

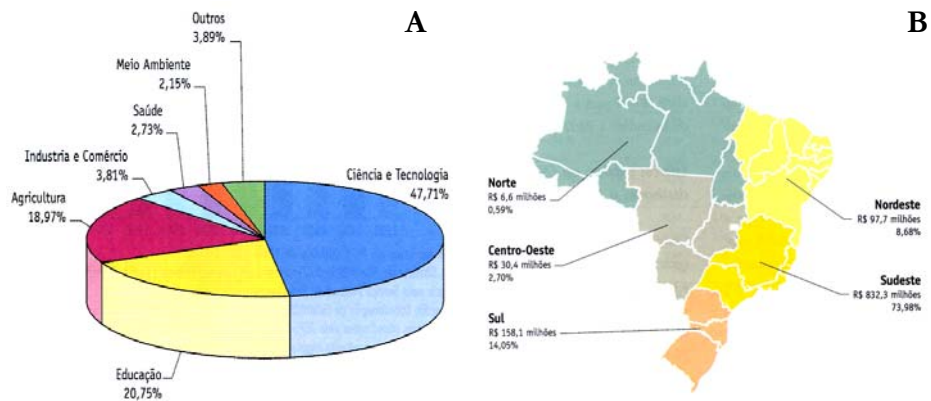
De forma análoga, embora seja muito comum a avaliação do desempenho da agricultura do Brasil, em comparação à de países de clima temperado, especialmente os Estados Unidos, tal comparação não tem razão de ser por serem as condições de crescimento de plantas, as variedades utilizadas e a infra-estrutura, completamente diferentes daquelas de uma região tropical. Assim, as características climáticas, as condições edáficas, a ocorrência de pragas, doenças e ervas daninhas diferem completamente, bem como as características das cultivares, a fenologia e desenvolvimento das plantas; tais diferenças tornam-se ainda maiores se forem consideradas as distâncias entre os centros de pesquisa, as características de transporte e comunicação e o próprio número de pesquisadores existente nos Estados Unidos e no Brasil (Paterniani, 1990).

Sem dúvida alguma, o Brasil é líder na agricultura tropical e, conseqüentemente, da América Latina, tendo conseguido desenvolver, em muitas áreas, tecnologia de produção própria para nossas condições, deixando de transferir, simplesmente, como já se fez no passado, pacotes tecnológicos de países de clima temperado e que, freqüentemente, não eram adequados para o nosso País, pelos motivos já expostos.

Cerca de 30% do PIB brasileiro é proveniente do Agronegócio e, deste total, 30% advém da Agropecuária. Este valor poderia ser muito mais signi-

ficativo, levando-se em conta a imensa extensão territorial ainda disponível para Agricultura e Pecuária. A elevação da produção agrícola promoveria benefícios adicionais a grande parte da população, ainda carente de alimentos e, sobretudo, justificaria a vocação agrícola do País, aumentando a exportação dos produtos agropecuários, carreando substanciais divisas à nossa economia.

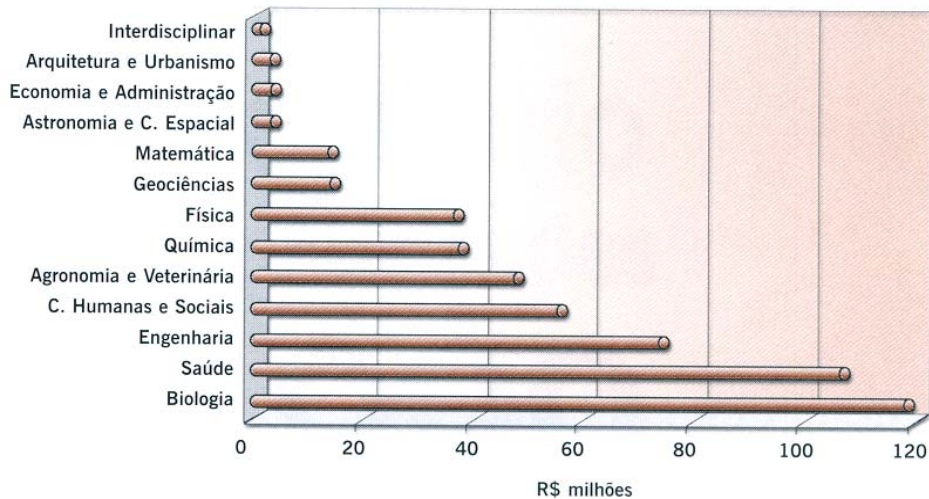
Tal objetivo somente será atingido por meio de pesquisas na área, com uma massa crítica convenientemente treinada e que possa atuar nas diferentes regiões do Brasil. Entretanto, o investimento de pesquisa não tem sido proporcional àquilo que a Agricultura representa para o PIB, ficando muito longe do esperado, pois o Governo Federal aplicou apenas 18,97%, em 1999, na Agricultura (Figura 1A). Além destes problemas, é de se salientar a grande concentração de recursos em determinadas áreas do País (Figura 1B). Mesmo em estados onde os investimentos são maiores, como em São Paulo, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) investiu, em 1999, 9,28% em Agronomia e Veterinária, valor inferior ao que se investiu em Ciências Humanas e Sociais, Engenharia, Saúde e Biologia (Figura 2).



**Figura 1. A.** Recursos do Governo Federal aplicados em Ciência e Tecnologia (C&T), segundo os Ministérios. Brasil: 1999. **B.** Recursos dos Governos Estaduais aplicados em Ciência e Tecnologia – 1999 (Silva & Melo, 2001)

Com relação à América Latina, a situação brasileira é confortável, pois apenas a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) investe, em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), mais de 50% do total de gastos dos institutos nacionais de pesquisa na América Latina, sendo o gasto por cientista, em média, três vezes maior do que os demais institutos (Tabela 1). Entretanto, estes gastos em relação aos países desenvolvidos é pequeno, pois nestes locais são investidos de 2 a 4% do PIB, enquanto que no Brasil,

tais investimentos são em torno de 0,9% (Tabela 2). Um fato interessante mostrado na Tabela 3 é que na Argentina, ainda hoje, muito pouca pesquisa é realizada na universidade, situação que era comum em nosso País antes do início dos cursos de pós-graduação na década de 60. Observa-se, ainda, que a participação do setor privado é muito maior nos países desenvolvidos se comparada àqueles em desenvolvimento.



**Figura 2.** Distribuição do investimento total por área de conhecimento - 1999 (Fapesp, 1999)

Existem, no entanto, casos muito bem sucedidos na agricultura brasileira e que serão detalhados no item “Impacto sócio-econômico das Ciências Agrárias”, como a produção de variedades de café, a ascensão à liderança da produção mundial de *Citrus* e o “caso soja”, em que após a adaptação do modelo americano às condições de clima temperado, foram desenvolvidas cultivares adaptadas a diferentes fotoperíodos, que permitiram o aumento da área de plantio desde o sul até o norte do País, com o uso de cultivares que proporcionam produtividade comparável à norte-americana.

**Tabela 1**

Investimento nacional das instituições em pesquisa na agricultura na América Latina, 1981-1992 (LEMOS & MORO, 2000)

País	Gastos totais (US\$ milhões de 1985)					Custo por cientista (US\$ mil de 1985)			
	1981	1986	1991	1992		1981	1986	1991	1992
Brasil	333	304	437	464		211	177	208	221
México	265	156	118	98		154	72	69	65
Outros	267	269	256	270		96	89	87	89
Total	865	729	811	832	Média	142	105	120	126

**Tabela 2**

Dispêndio Nacional em P&D como percentagens do PIB. Brasil: 1999 e países da OCDE selecionados - 1991/1998 (Silva & Melo, 2001)

<b>Países</b>	<b>1998</b>	<b>Países</b>	<b>1998</b>
Suécia	3,7	U. Européia	1,8
Japão	3,1	Canadá	1,6
Finlândia	2,9	Irlanda	1,4
EUA	2,7	Itália	1,0
Coréia do Sul	2,5	Brasil	0,9*
Alemanha	2,3	Espanha	0,9
França	2,2	Hungria	0,7
Reino Unido	1,8	México	0,3

\* Refere-se a 1999

Entretanto, o modelo agrícola produtivista que se difundiu e se notabilizou no pós-guerra, passa por discussões que incluem parâmetros adicionais. “Pelo lado da oferta, contribuem os desequilíbrios entre os excedentes crônicos dos países desenvolvidos e escassez de alimentos nas áreas periféricas do Terceiro Mundo. Pelo lado da demanda, contribuem os novos padrões de consumo baseados na revalorização do alimento e na institucionalização da defesa ambiental. Questionam-se, assim, as bases do modelo produtivista, pois além de se produzir em grandes quantidades, para garantir a oferta, exige-se que tal produção seja obtida com cuidados conservacionistas e que os produtos agrícolas tenham atributos qualitativos, para os quais o paradigma produtivista dava pouca atenção” (Salles F<sup>o</sup>, 1998).

Deve-se salientar, contudo, uma crescente tendência de se questionar a participação da ciência no desenvolvimento de uma agricultura eficiente. Na verdade, o emprego adequado de tecnologias avançadas pode contribuir, efetivamente, para uma agricultura sustentável, preservação do ambiente, conservação e melhoramento do solo, produzindo, ao mesmo tempo, alimentos mais saudáveis. Assim como a química (orgânica e inorgânica) foi o fator chave do paradigma produtivista, a biotecnologia, provavelmente, será a base do modelo tecnológico.

**Tabela 3**

Participação relativa nos investimentos na pesquisa em agricultura em 1995 (%)  
(Lemos & Ramos, 2000)

<b>País</b>	<b>Instituições federais de pesquisa</b>	<b>Universidades</b>	<b>Setor privado</b>
EUA	15	31	54
Reino Unido	37	5	57
Brasil	63	29	6
México	50	17	33
Argentina	89	5	6
Chile	75	20	5
Colômbia	61	2	37
Equador	52	5	33
Índia	43	33	24
Filipinas	46	18	36

## **EVOLUÇÃO NA FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS**

O século XXI será o século da Ciência, Tecnologia e Inovação, propulsoras de conquistas culturais, sociais e econômicas.

A atividade científica no Brasil, nestes últimos anos, passou a ser mais estruturada e profissional, com a formação de grupos multi e interdisciplinares, capazes de desenvolver pesquisas em nível comparável àquelas do primeiro mundo. O País passou por uma fase transitória, deixando de lado aquela pesquisa (de excelente nível, em muitos casos) realizada por indivíduos ou mesmo instituições isoladas, com pouco apoio estatal ou privado.

Tal mudança começou a ser realizada com o início dos cursos de pós-graduação na década de 60, fato que gerou, na área de Ciências Agrárias (como em outras áreas), uma grande modificação, pois, até então, a pesquisa era realizada, na sua maioria, pelos institutos isolados (Instituto Agrônomo de Campinas, IAC; Instituto Biológico de São Paulo, IB; Instituto Butantã; Instituto de Botânica etc). A partir daí, grande parte das pesquisas passou a ser realizada nas universidades, pelos programas de pós-graduação, incluindo ações conjuntas com os alunos de iniciação científica, aperfeiçoamento, mestrado, doutorado e pós-doutorado.

A articulação ensino e pesquisa é fundamental para o aparecimento de programas contínuos e duradouros e geração significativa de conhecimento, tanto básico como tecnológico. Tal articulação inicia-se nos cursos de graduação, sendo oferecidas em Ciências Agrárias, em 1998, 13.207 vagas, concentradas nas regiões Sul e Sudeste do País (68,54%), incluindo instituições de ensino federais, estaduais, municipais, particulares e regionais (Figura 3), de qualidade e nível de ensino bastante variáveis.

Entretanto, a principal responsável pelo incremento do sistema de pesquisa brasileiro, sem dúvida, é a pós-graduação que, além de formar novos pesquisadores, base de qualquer sistema sólido de pesquisa, está constantemente aberto à renovação, pois tal política de cursos de pós-graduação torna, para jovens recém-formados, uma atraente opção pela qualificação formal e sistemática, aumentando continuamente a massa crítica na área.

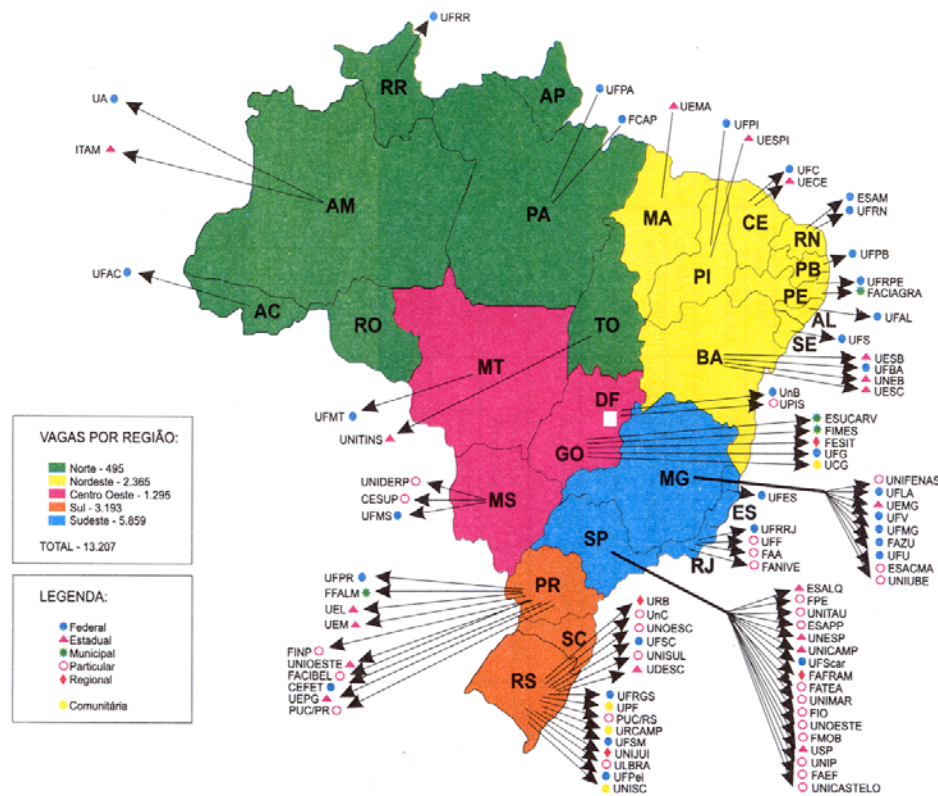


Figura 3. As instituições de ensino de Ciências Agrárias no Brasil (ABEAS, 1998)

A criação da Embrapa, em 1973, contribuiu de maneira significativa para o aumento do número de pesquisadores treinados em pós-graduação, e para o aumento de programas de pesquisa, distribuídos nos “Centros Nacionais de Pesquisa” alocados nos diferentes estados brasileiros. A Embrapa



pode ser considerada hoje a maior empresa de pesquisas em Ciências Agrárias do Terceiro Mundo, gerando processos e produtos, criando condições para o aumento da produtividade e, principalmente, gerando tecnologia própria para regiões completamente distintas do Brasil e com características e culturas próprias.

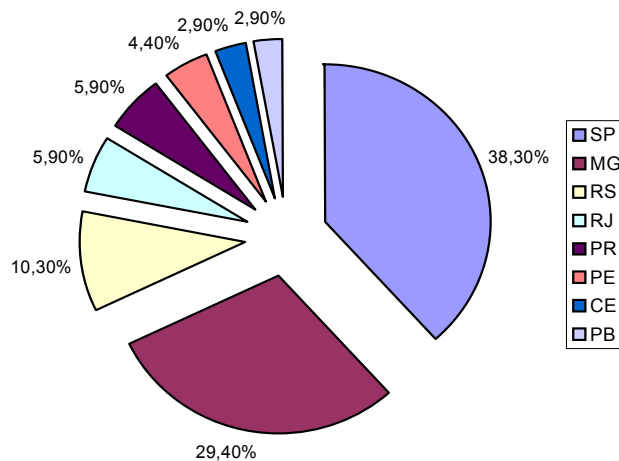
Cabe aqui ressaltar o importante papel das agências de fomento federais, como o CNPq, investindo de forma maciça em bolsas, desde as de Iniciação Científica. Esta modalidade é tradicional e consagrada nas instituições de ensino e pesquisa brasileiras, pois o CNPq contempla este tipo de bolsa desde a sua fundação em 1951. O CNPq atualmente disponibiliza 14.500 bolsas de Iniciação Científica, sendo 11,1% para a área de Ciências Agrárias. Em 1988, foi criado o programa Institucional – PIBIC, ligado às diferentes universidades do País, para estreitar as relações entre instituições de ensino e pesquisa. As bolsas de Iniciação Científica não somente contribuem para a formação acadêmica e profissional do aluno, como aumentam a possibilidade de identificação de talentos para a pesquisa e contribuem para a redução significativa do tempo médio de titulação nos cursos de pós-graduação.

Ao lado do CNPq, a Capes tem tido uma atuação relevante na área de recursos humanos da pós-graduação. A formação de mestres e doutores na área de Ciências Agrárias tem crescido de forma significativa nos últimos anos. Assim, enquanto em 1996 foram titulados 1.308 mestres e 313 doutores, em 2000, receberam os títulos de mestre e doutor, respectivamente, 1.979 e 550 profissionais na referida área.

Este treinamento e formação de massa crítica permitiu que o número de artigos científicos em C&T saltasse de 1.889, em 1981, para 9.511, em 2000, correspondendo à uma variação percentual de 403,49%, passando o Brasil a ocupar a 17ª posição, em termos mundiais. Nas Ciências Agrárias, este número também aumentou consideravelmente. Embora não tenha atingido níveis de excelência desejados, deve-se considerar que é uma área com características próprias, e que, muitas vezes, uma publicação regional ou local pode ser de extrema relevância. Afinal, o setor produtivo nacional precisa ter acesso ao novo conhecimento para o desenvolvimento de tecnologia específica para atender aos interesses do País.

Um outro aspecto de grande relevância é a existência de uma preocupação muito grande com a qualidade da massa crítica formada, desde os níveis de graduação até a pós-graduação. Assim, nos últimos anos, o “Provão” para a graduação, e o Sistema de Avaliação Capes, para pós-graduação, têm seguido nesta direção. O primeiro, ainda está em fase de implantação, porém, o segundo, já é totalmente aceito pela comunidade científica e despon-ta como modelo para todo o País. Como em todas as áreas existe alta con-

centração de cursos com níveis 5, 6 ou 7 avaliados pela Capes, nas regiões Sudeste e Sul, assim como maior número de pesquisadores 1A de produtividade científica, do CNPq (Figura 4), nestas áreas, fruto do maior investimento em pesquisa. Em São Paulo, a Fapesp, como principal fundação estadual, injeta considerável soma de recursos (R\$ 48.044.369,00 em 1999) na área de Agronomia e Veterinária, o correspondente a 9,3% do investimento total em auxílios e 8,52% do total das bolsas investidas na pós-graduação. Outras fundações começam a desempenhar o seu papel, nos estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Goiás, embora, muitas delas, ainda de forma relativamente modesta.



**Figura 4.** Distribuição de pesquisadores 1 A de Produtividade Científica da CNPq, em Ciências Agrárias, por estado

## **AValiação do Estado da Arte no Brasil e no Mundo**

O Brasil detém um bom desenvolvimento tecnológico em diversas áreas como melhoramento genético, biotecnologia, controle de pragas e doenças (especialmente Controle Biológico), tecnologia de sementes, nutrição de plantas, práticas agrícolas, incluindo irrigação, conservação de solo e plantio direto.

O grande desafio do novo modelo tecnológico é aumentar a produtividade, levando-se em conta a qualidade de processos e produtos, sem degradação ambiental e, se possível, de uma forma sustentável.

Embora crescente, o número de pesquisadores titulados no Brasil ainda é pequeno, se comparado aos Estados Unidos, por exemplo. Assim, em 1997, na área de Ciências e Engenharias, foram titulados 27.180 doutores

nos Estados Unidos, e 2.691 no Brasil. Isto é reflexo do investimento em C&T, pois enquanto investe-se 0,9% do PIB no Brasil, tal investimento corresponde a 3,7; 3,1; 2,9 e 2,7% na Suécia, Japão, Finlândia e Estados Unidos, respectivamente. Portanto, independentemente da qualidade individual e de excelentes grupos de pesquisas formados nos últimos anos no Brasil, ainda faltam pesquisadores para se igualar ao desenvolvimento científico de países do primeiro mundo. Poderiam ser citados, como exemplos: enquanto nos EUA, 70% dos pesquisadores que trabalham com Ciências da Vida, usam, enzimas de restrição em suas pesquisas, este número não ultrapassa 5% entre pesquisadores brasileiros; na área de bioinformática, fundamental para estudos de biologia molecular, praticamente não há pesquisadores brasileiros especializados, desenvolvendo softwares para rotina de laboratório; grupos envolvidos com Manejo de Pragas ou Produção Integrada são ainda incipientes em nosso País, sendo que, muitas vezes, o mesmo pesquisador se envolve com diferentes espécies cultivadas, devido à falta de massa crítica na área.

Portanto, é fundamental que haja continuidade dos programas de formação de recursos humanos no País, especialmente em áreas estratégicas, incluindo treinamento no exterior, especialmente em programas de bolsas “sanduíche”, que representam um ônus menor ao País, pelo menor tempo de titulação e possibilidade de intercâmbio com centros mais avançados.

O alto investimento na formação de recursos humanos nas regiões Sudeste e Sul tem distanciado ainda mais centros de pesquisa de áreas menos favorecidas. É fundamental que haja um balanceamento entre os investimentos na formação de recursos humanos e de auxílios à pesquisa, pois, muitas vezes, o pesquisador formado se frustra ao voltar ao local de origem, por não possuir estrutura adequada à realização das pesquisas ou insumos para conduzi-las.

Deve ser tomada como exemplo a Fapesp que, através do Projeto de Infra-Estrutura, contribuiu para a recuperação da estrutura física de pesquisa do estado de São Paulo, na década de 90, permitindo um avanço tecnológico considerável, e, em muitos casos, originando centros de excelência de padrão internacional.

Para manter a liderança em pesquisas nas regiões tropicais e subtropicais, preservando o ambiente, mantendo a biodiversidade e melhorando a qualidade de vida do brasileiro, é fundamental que sejam desenvolvidos mecanismos para contratação deste contingente humano que vem sendo treinado, com salários dignos e compatíveis com o mercado. Deve haver, sobretudo, uma política de reposição de aposentados e um sistema de avaliação e, principalmente, de valorização dos “produtivos” e que estejam no regime de dedicação integral à docência e à pesquisa.

Devem ser definidas prioridades em culturas de importância econômica para o País, com características regionais, que permitam ao Brasil uma liderança nas áreas tropicais e sub-tropicais do globo, criando oportunidades para transferir as tecnologias geradas nestas condições.

Devem ser criados centros de excelência, que funcionem como pólos de difusão para áreas menos favorecidas e que poderiam, por determinados períodos, absorver pesquisadores provenientes de centros menos favorecidos, como período de preparação para volta aos centros de origem. Nestes locais, poderiam ser associados grupos, por exemplo, de genética tradicional e molecular, que muitas vezes, não geram os resultados que a sociedade espera, quando atuam isoladamente.

### IMPACTO SÓCIO-ECONÔMICO DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Embora existam casos isolados de sucessos, foi a partir do investimento em tecnologia, na década de 70, que o Brasil teve um grande avanço na Agricultura. Mesmo na década de 80, quando o País teve um baixo crescimento, ainda assim a queda no crescimento da Agricultura foi proporcionalmente menor do que a economia como um todo (Brandão, 2000).

Como a cadeia produtiva é composta de três passos, em seqüência obrigatória: pesquisa → extensão → implantação (Malavolta, 2000), houve casos em que a extensão não foi suficientemente forte e atuante para transferir os resultados das pesquisas ao setor produtivo, característica comum em países menos desenvolvidos. Serão citados apenas alguns exemplos para que se possa ter idéia do impacto econômico da área:

**Café.** A produção de café cresceu a uma taxa média anual de 1,2%, sendo este crescimento sustentado, em grande parte, pelo crescimento da produtividade. Em função das inovações tecnológicas, passam hoje despercebidas as características bienais da cultura, com a utilização de novas cultivares e o plantio do café adensado, em áreas não tradicionais da cafeicultura (Triângulo Mineiro, por exemplo). Esse desenvolvimento se deveu às pesquisas desenvolvidas desde a década de 30 no IAC, que permitiram saltos na produção, especialmente com novas cultivares resistentes a doenças (*Hemileia vastatrix*) e nematóides. Este melhoramento genético resultou em um incremento anual estimado em 16.273.712 sacas de café/ano na produção brasileira (Vencovsky & Ramalho, 2000).

**Soja.** É a mais importante leguminosa cultivada no mundo, devido ao alto teor protéico (40%) e percentual de óleo comestível (20%). Até o início

dos anos 70, a soja do Brasil não tinha representatividade no cenário internacional, pois representava apenas 2% da produção mundial. Atualmente, o País produz 20% da produção mundial. Graças ao melhoramento genético, adaptando-se as cultivares para as regiões com diferentes fotoperíodos do País conseguiu-se, principalmente, devido ao esforço das diferentes áreas de pesquisa da Embrapa/soja, um ganho de 1.200 kg/ha em 38 anos de trabalho. É a cultura na qual o Manejo de Pragas é mais utilizado, pelo alto nível das pesquisas na área de entomologia, fitopatologia e de ervas daninhas. A importância da pesquisa para o estabelecimento da cultura da soja no Brasil pode ser ilustrada pelo fato de que esta leguminosa é originária de regiões situadas em latitudes próximas aos 40° N. Desta maneira, sem a eficiência dos resultados dos trabalhos de melhoramento genético, seria impossível cultivá-la em muitas áreas do País, especialmente nas regiões Norte e Nordeste.

**Milho.** É a cultura que reuniu o maior número de melhoristas, buscando e conseguindo resultados espetaculares no aumento de produtividade, com incrementos variando até 123 kg/ha/ano, no período de 1946 a 1995. A incorporação de características agrônômicas, conferindo resistência a doenças, plantas mais compactas, resistência à seca, resistência ao acamamento, foram feitas nesta cultura. O desenvolvimento de variedades utilizadas fora do período convencional, com a utilização de irrigação, o chamado milho “safrinha”, tem contribuído para o aumento da produção brasileira, pois em 2000 foram cultivados cerca de 3 milhões de ha, com produção equivalente a 13% do total produzido no Brasil e a 22,8% da área cultivada com milho no País.

**Feijão.** É um dos componentes básicos da dieta dos brasileiros, e a principal fonte protéica utilizada pela população brasileira. Tem sido produzido um grande volume de trabalhos sobre melhoramento genético, sendo que de 1982 a 1995 foram recomendadas 69 novas cultivares (Vencovsky & Ramalho, 2000). Estas cultivares associam maior produtividade, resistência a doenças e pragas, adaptação a diferentes condições climáticas, adaptabilidade à colheita mecanizada e aceitação do tipo de grão pelo usuário em função da localização e mercado da cultura.

**Arroz.** O brasileiro consome 42 kg de arroz por ano, constituindo sem dúvida, a principal fonte de alimentação do povo. Houve incremento considerável da produção/área, nos últimos 20 anos, da ordem de 33 kg/ha/ano para o arroz de sequeiro e de 44 kg/ha/ano para o arroz irrigado. No entanto, há necessidade da intensificação dos investimentos para a pesquisa com

esta cultura, porque os níveis de produtividade nacional ainda estão distantes do potencial genético característico dessa espécie.

**Citrus.** Apesar de todos os problemas fitossanitários existentes, os desafios vêm sendo vencidos pelos pesquisadores, com a produção chegando ao patamar de 400 milhões de caixas/ano, gerando uma receita anual de US\$ 1,5 bilhão, proveniente apenas da exportação de suco concentrado e subprodutos.

Na década de 40, a “tristeza-dos-citrus”, vírus veiculado por pulgões, chegou a matar 10 milhões de plantas, sendo o problema sanado com a mudança do porta-enxerto, para laranja “Azeda”, e a pré-imunização das plantas pelo uso de estirpes fracas do vírus. Problemas como o cancro cítrico, bactéria que intensificou sua ocorrência após o aparecimento do minador-dos-citros, *Phyllocnistis citrella*, em 1996, e a clorose variegada-dos-citros (CVC) ou amarelinho, bactéria transmitida por cigarrinhas, têm sido estudadas dentro do projeto Genoma e controlados de maneira convencional por erradicação, poda, pulverização ou utilização de mudas isentas das doenças. Outros problemas fitossanitários, como o ácaro-da-leprose, ácaro-da-ferrugem, bichofurão, moscas-das-frutas, cochonilhas, pinta-preta etc., vêm sendo pesquisados, numa ação conjunta da empresa privada (Fundecitrus) e órgãos oficiais de pesquisa, associados à Fapesp, CNPq, e organismos internacionais. A pesquisa é, neste caso, justificável pois os problemas podem afetar os 200 milhões de plantas cítricas e os 450 mil postos de trabalhos diretos e indiretos gerados pela citricultura.

**Frutas de clima temperado.** Dentre as diversas frutíferas de importância para o Brasil (maçã, pêsego, pera, ameixa, figo, morango, pecã etc.), a maçã é a mais importante, tendo o seu cultivo recebido um grande avanço nos últimos 20 anos de pesquisa em Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O consumo de maçãs, passou de 1,5 kg/pessoa/ano em 1985 para 5,0 kg/pessoa/ano em 1996 [pequeno em relação à Argentina (15 kg/pessoa/ano) ou Europa (60 kg/pessoa/ano)]. Estas maçãs, das variedades Fuji (80%) e Gala (20%), foram adaptadas às condições brasileiras, com relação à quebra de dormência, e da resistência a doenças (sarna, oídio, podridão-do-colo) e pragas (pulgão lanígero). Houve possibilidades de diminuição da importação, pois a produção aumentou de 16 mil toneladas em 1977 para 495 mil toneladas em 1995, o que demandou a construção de câmaras frigoríficas para armazenamento de 350 mil toneladas, tornando-se o Brasil, em curto espaço de tempo, um país exportador.

**Eucalipto.** Importado na primeira metade do século 20, o eucalipto se tornou a mais importante madeira para uso generalizado. As pesquisas reali-

zadas por iniciativa privada ou instituições públicas resultaram num aumento da produtividade de 20 m<sup>3</sup>/ha/ano em 1960 para 40 m<sup>3</sup>/ha/ano em 1998.

**Nutrição de plantas.** As relações entre fertilidade do solo, nutrição de plantas e produtividade agrícola são inquestionáveis, da mesma forma que a contribuição da pesquisa brasileira para a evolução do conhecimento e desenvolvimento de procedimentos dirigidos ao aproveitamento racional das relações solo/planta. Exemplos ilustrativos dessas iniciativas podem ser representados: a) pelo aprimoramento da metodologia para condução de análises físico-químicas do solo e interpretação de seus resultados, com reflexos diretos na produção de espécies de importâncias econômica; b) pelos esforços desenvolvidos por diversas instituições de pesquisa, dentre elas, o Sistema Embrapa, IAC, UFV, Esalq, dirigidos à materialização do aproveitamento agrícola dos cerrados. Estes ocupam área, com potencial para uso agrícola de, aproximadamente, 204 milhões de ha, área que, até a metade do século passado, era totalmente inaproveitada. Atualmente, cerca de 47 milhões de ha são utilizados com culturas perenes (4%), culturas anuais (21%) e pastagens cultivadas (75%), com evidente sucesso e retorno, tanto econômico como social.

## MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP)

Com o uso abusivo de produtos químicos no período de 1940-1960, houve uma série de problemas, que levaram a comunidade científica a introduzir uma nova filosofia de controle de pragas, com a integração de vários métodos de controle (se possível, alternativos ao químico), levando-se em consideração critérios econômicos, ecológicos e sociais.

No Brasil, a partir da década de 70, houve casos espetaculares com a introdução deste Manejo de Pragas ou de medidas alternativas de controle em substituição ao controle químico.

Assim, em soja, a utilização do vírus *Baculovirus anticarsia* para controlar a lagarta-da-soja, *Anticarsia gemmatilis*, aplicado em cerca de 1 milhão de ha, a partir de 1979 e desenvolvido sob a coordenação do Dr. Flávio Moscardi, da Embrapa/soja, gerou economia da ordem de US\$ 100 milhões de agroquímicos e 11 milhões de litros de inseticidas deixaram de ser aplicados no Brasil. É o maior programa de Controle Biológico do mundo, sendo imitado em países desenvolvidos e subdesenvolvidos.

Em cana-de-açúcar, o programa de Controle Biológico da broca-da-cana, *Diatraea saccharalis*, através do parasitóide importado *Cotesia flavipes*, realizado pela Universidade Federal de São Carlos (antigo Planalsucar)

Copersucar e Esalq, gerou economia da ordem de 80 milhões de dólares por ano para São Paulo, pois até a introdução deste inimigo natural, liberado de forma massal, as perdas devido ao ataque da broca à cana eram da ordem de US\$ 100 milhões por ano, e hoje tais perdas chegam a ser de US\$ 20 milhões por ano, devido à ação deste inimigo natural, introduzido de Trinidad-Tobago (Parra, 2000).

O exemplo em trigo, para controle dos pulgões da cultura, utilizando-se inimigos naturais importados, na década de 70, resultou no período de 1978 a 1992 em uma economia de 16,2 milhões de dólares/ano, sendo que dos 99% dos agricultores que aplicavam o agroquímico contra pulgões, apenas 5% hoje realizam tais aplicações, pois os inimigos naturais importados foram eficientes no controle dos pulgões mencionados.

Outros casos de sucesso poderiam ser citados em tomateiro, citros, algodoeiro, florestas, soja etc. (Parra, 2000).

## **PERSPECTIVAS**

No novo século, cada vez mais irá valorizar-se a Ciência e Tecnologia, como fator de produção. A sociedade está cada vez mais exigente, não adquirindo produtos cuja procedência seja desconhecida ou ainda que tenha recebido determinados agroquímicos no seu processo de produção. O contingente humano formado nos cursos de pós-graduação deverá estar consciente desta mudança de concepção produtivista para tecnológica, rumo a uma agricultura sustentável, não podendo serem mais concebidas altas produtividades com sérios prejuízos ambientais.

O paradigma atual tem como componentes principais: qualidade dos produtos, preços, estabilidade de produção (materiais genéticos resistentes às adversidades climáticas), imagem no mercado (produtos de alta qualidade e sanidade) e contratos de longo prazo (fornecimento estável, com certificação de produtos) (Embrapa, 2000). Neste contexto, é fundamental a estreita associação ensino, pesquisa e transferência de tecnologia e conhecimento. Assim, as universidades, institutos de pesquisa, setor governamental, setor privado deverão estar integrados em programas multi e inter-disciplinares, em nível nacional e internacional na busca de soluções para nossos problemas. Deve ser incentivada, cada vez mais, a interação com o setor privado, à semelhança do que ocorre em países desenvolvidos, sem que sejam cerceadas as liberdades de pesquisa. Isto já começa a se delinear, pois 50% da massa crítica formada na pós-graduação já foi absorvida pelo setor privado.

Houve, no Brasil, grandes progressos nos últimos anos. A produção de grãos, que por muito tempo ficou nos 50 milhões de toneladas por ano, atin-



giu os 100 milhões nos últimos anos. A biotecnologia deverá ocupar posição de destaque no século XXI; até a metade dos anos 90, o Brasil ocupava posição pouco privilegiada em termos de competência na área de Biologia Molecular. Em 1997, a Fapesp articulou e financiou um programa de seqüenciamento genômico; um grupo de pesquisadores organizados em rede (Rede Onsa) iniciaram o estudo de *Xylella fastidiosa*, bactéria responsável pela CVC (clorose variegada dos citros), vulgarmente chamada de amarelinho, responsável por grandes perdas na citricultura paulista. O sucesso do programa inseriu o Brasil no contexto de países em desenvolvimento, criando massa crítica competitiva em termos internacionais e fazendo, a partir deste programa, parte do clube que tem tecnologia avançada em genômica. Seguiram-se outras pesquisas em Genoma Funcional de *Xylella*, Genoma Cana-de-Açúcar, Genoma *Xanthomonas citri* (bactéria vetora do cancro cítrico). O Banco de Caracteres da Embrapa deverá acelerar estudos de mecanismos biológicos, identificação e clonagem de genes e módulos regulatórios úteis para expressão de moléculas de interesse na bioindústria, bem como desenvolvimento de plantas, animais e microrganismos com atributos superiores.

Em agricultura, o desenvolvimento da biotecnologia é mais lento do que na saúde pública. Tais técnicas moleculares deverão complementar as técnicas convencionais de melhoramento genético. Uma integração interdisciplinar da engenharia genética, técnicas *in vitro*, cruzamentos convencionais e bioinformática, deverão consolidar a posição científica do Brasil no cenário internacional.

A massa crítica aumentou, nos últimos anos, e os 1.352 grupos de pesquisa do CNPq, em Ciências Agrárias, representam 12% do total de grupos das diferentes áreas.

Algumas linhas de pesquisa devem ser incentivadas para que o Brasil seja cada vez mais inserido no contexto internacional:

**Biotecnologia.** As plantas transgênicas já ocupam 52,6 milhões de ha no mundo, com 68% do total nos Estados Unidos e 23% na Argentina (JAMES, 2001). Inúmeros outros países contam com cultivos transgênicos, destacando-se o crescente plantio de algodão Bt na China, onde pequenos agricultores cultivaram, em 2000, um total de meio milhão de hectares, resultando em sensível redução do uso de inseticidas, aumento da produtividade e redução de acidentes com os agricultores (PRAY et al. 2000).

No Brasil, os transgênicos estão inseridos na Lei n°. 8.974 de 05/01/1995 e subsequente regulamentação pelo Decreto n°. 1.752, de 20/12/1995, que criou a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). O País conta com excelente qualificação técnica no assunto, tanto no setor público como no privado. Assim, é que já foram aprovadas pela CTNBio, para expe-

rimentação, mais de 900 liberações no meio ambiente, envolvendo as culturas de algodão, arroz, batata, cana-de-açúcar, eucalipto, feijão, fumo, mamão, milho e soja.

Cumprir destacar a posição da Embrapa que, dentre outros aspectos, salienta que estrategicamente vem se preparando, há mais de quinze anos, para gerar e adaptar tecnologia agropecuária de ponta e acredita que o uso seguro da engenharia genética desempenhará papel de alta relevância no desenvolvimento sustentável da economia nacional, pelas possibilidades que traz de redução de custos de produção e de impactos ambientais no meio rural.

A Embrapa classifica a questão das plantas transgênicas em quatro dimensões, a saber: I – A relevância da tecnologia do DNA recombinante para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira; II – a garantia da disponibilização de tais tecnologias de forma segura para o consumidor e para o meio ambiente, à luz dos conhecimentos científicos de biossegurança existentes; III – A possível vantagem comercial para o Brasil da certificação de origem de algumas “commodities” transgênicas; e IV – o direito do consumidor de optar pelo consumo de alimentos não transgênicos. Embora o Brasil esteja inserido no fechado grupo que detém a tecnologia genômica, os transgênicos têm a produção comercial proibida por medida judicial em nosso País. É fundamental, no entanto, que as pesquisas sobre o assunto tenham continuidade, para que o Brasil não sofra um atraso tecnológico que poderá afetar o seu desenvolvimento.

Realmente o Brasil dispõe de massa crítica na área, pois o seqüenciamento de *Xylella fastidiosa* reuniu 190 cientistas, de 11 universidades e institutos de pesquisa em 30 laboratórios, formando a Organização para Seqüenciamento e Análise de Nucleotídeos (Organization for Nucleotides Sequence and Analysis) que resultou na sigla ONSA para a rede formada. Depois de um trabalho de menos de dois anos e, pela primeira vez no mundo, a equipe citada realizou o seqüenciamento de *X. fastidiosa*, cujos resultados foram publicados na revista Nature, em julho de 2000.

Esta área, mais do que outras, deve incluir a associação com iniciativas privadas, pois nos Estados Unidos ainda hoje persistem 60% das empresas de biotecnologia criadas entre 1980 e 1994. O Fundecitrus (Fundo Paulista de Citricultura) tem desenvolvido, no Brasil, parcerias com universidades, institutos de pesquisa e órgãos financiadores de pesquisas, para as pesquisas voltadas à citricultura, ao lado de outras empresas em outras culturas. Dentre as diversas facetas da biotecnologia, a bioinformática deve ser priorizada.

**Biodiversidade.** O mapeamento e análise da biodiversidade, incluindo fauna, flora, fungos macroscópicos e microscópicos e microrganismos, tanto no ambiente terrestre como aquático, mantendo-se germoplasmas e

identificando-se insetos e microrganismos benéficos para Controle Biológico e processos simbióticos, devem ser intensamente pesquisados.

O Projeto Biota, da Fapesp, é um início deste tipo de trabalho, que envolve um investimento de R\$ 8,3 milhões e que utiliza o modelo virtual interligando mais de 200 pesquisadores paulistas, reunidos em 15 projetos, associados a instituições públicas, através da internet.

O objetivo final, que deverá ser imitado, é a formação de um banco de dados com informações sistematizadas, permitindo a elaboração de políticas públicas de conservação e uso sustentável da biodiversidade do Estado e a formação de recursos humanos em áreas básicas para subsidiar o estudo da biodiversidade (FAPESP, 1999).

**Produção Integrada.** Definida como “sistema agrícola de produção de alimentos e outros produtos de alta qualidade, utilizando recursos e mecanismos reguladores naturais, com a finalidade de evitar os efeitos prejudiciais ao meio ambiente, assegurando, a longo prazo, uma agricultura sustentável”.

A agricultura globalizada exige, cada vez mais, produtos certificados em relação à qualidade. Tal produção tem, no Manejo de Pragas e Doenças, o seu ponto crucial, pois os produtos não poderão ter resíduos tóxicos acima dos limites estabelecidos por lei. É, sobretudo, uma ação integrada, envolvendo material vegetal adequado às variações climáticas, plantas certificadas, quebra-ventos para evitar deriva de tratamentos químicos para rios e fontes d'água, e que funcionem como refúgio da fauna benéfica; inclui ainda fertilização do solo e manejo da cobertura vegetal, manejo da cultura (orientação de plantio, sucessão de espécies, polinização); irrigação; manejo de pragas, com alternativas de controle (controle biológico, feromônios sexuais) ou utilização de produtos seletivos; adequação de máquinas para tratamentos fitossanitários e qualidade e manejo de produção (colheita e pós-colheita).

Os excelentes programas de Manejo de Pragas no País (em cana-de-açúcar, soja, tomate, trigo etc.) deverão ser incentivados, formando-se as equipes multi-disciplinares que atendam à Produção Integrada, atuando na busca de alternativas de controle, especialmente através do Controle Biológico.

**Agricultura de Precisão.** É um sistema de gerenciamento localizado da produção agrícola, que envolve coleta de dados no campo, o diagnóstico, a interpretação dos dados e a interferência no processo, com a recomendação das doses adequadas de insumos nos pontos mais necessários da área.

Em países desenvolvidos, tal tecnologia é usada desde a década de 80. No Brasil, iniciou-se em 1995. Na agricultura de precisão, a informação ob-

tida é o mapa de produtividade, que mostra o total colhido em cada parcela do terreno, representado por uma imagem. Para tal, utilizam-se sensores como o DGPS e GPS.

**Agronegócio.** Cerca de 30% do PIB do Brasil advém do Agronegócio, e destes 30% da Agropecuária. O Agronegócio se constitui na articulação entre os elos da cadeia produtiva, com a premissa de reconhecimento da interdependência, tendo como objetivo a maximização da competitividade do produto agrícola no mercado. Vale a pena ressaltar alguns importantes componentes do Agronegócio, como a prática do mercado futuro, o índice de preços agrícolas e a logística de transporte, que devem ganhar cada vez mais espaço na agricultura brasileira. O uso do mercado futuro assegura recursos para gerenciar o risco da atividade agrícola permitindo, inclusive, a viabilização de financiamentos.

A geração de índices de preços praticados no mercado agrícola modera as diferenças de poder de mercado entre os produtores e as empresas.

A logística de transporte, por outro lado, é de fundamental importância para minimizar perdas e otimizar eficiência na movimentação da produção agrícola, especialmente num país de dimensões continentais como o Brasil.

**Irrigação e Zoneamento Climático.** O Brasil tem um grande potencial, especialmente em fruticultura tropical, pelas possibilidades climáticas de produção contínua, como no Vale do São Francisco, no nordeste do País; 5% da nossa área cultivada é irrigada (3 milhões de ha), com potencial para chegarmos a 20 milhões de ha. Na filosofia de Produção Integrada e do Agronegócio, poder-se-á conseguir com o uso da irrigação, o controle da época de produção, que é uma estratégia de comercialização diferenciada para agregar valores. Estudos de contaminação ambiental (solo, água, lixiviação, lençol freático) devem ser priorizados.

A definição de áreas (zoneamentos agroclimáticos), ligada a programas de melhoramento genético, para plantas, poderão minimizar os riscos de incertezas na produção.

**Sistemas de Produção.** Novos sistemas de produção adequados à realidade tropical, devem ser incentivados. O plantio direto já é uma realidade no Brasil, permitindo controle efetivo da erosão e a conservação das características físicas e químicas do solo. Já são cerca de 12 milhões de ha com plantio direto no País, favorecendo o aumento da matéria orgânica, evitando movimentação e compactação do solo, proporcionando melhor aproveitamento de água e aumentando a disponibilidade de N, P e K. Outros

exemplos são representados pelos sistemas de sucessão de culturas, cultivo consorciado, aproveitamento das condições climáticas e edáficas para produção mais eficiente.

A produção de hortaliças tem tomado novo rumo com a crescente adoção do sistema de cultivo protegido e da técnica de transplante de mudas, para várias espécies de importância econômica. O sucesso dessas iniciativas, já comprovado, é diretamente dependente do desenvolvimento tecnológico apoiado na investigação científica.

O impacto destes novos sistemas nas características do solo, fauna e flora também tem sido investigado. As previsões de safra, com modelos de simulação envolvendo estudos da modelagem em computador, devem ser priorizadas, pois constituem avanços para o aprimoramento do sistema produtivo, com subsídios fornecidos pela pesquisa.

**Energia.** Além do álcool como combustível (projeto líder mundial e resultante do intenso trabalho com variedades de cana-de-açúcar, para produção e resistência a pragas e doenças), a atividade agrícola gera subprodutos com potencial de produzir energia termoeletrica. Podem ser destacados o bagaço e a massa verde da cana-de-açúcar, produtos orgânicos para biodigestão e resíduos do processamento da madeira.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ciência no Brasil vem registrando um avanço incontestável nas últimas décadas, a despeito dos problemas de infra-estrutura, financiamento e gestão de pesquisa (organização).

É necessário que sejam estabelecidas parcerias com os diversos setores da sociedade para o desenvolvimento social, econômico e cultural do país. Os Fundos Setoriais poderão ajudar nestas parcerias, mas a interação da pesquisa oficial e a iniciativa privada é imprescindível para a resolução de problemas específicos e o progresso do conhecimento.

Os programas de formação de recursos humanos devem continuar, agora de uma forma mais seletiva. Os esforços dos órgãos de fomento devem continuar a aumentar, seguindo o exemplo do CNPq, nos programas de Agronegócio, com os projetos Plataforma (Citrus, Plantio direto, Café, Feromônio e Controle Biológico etc). Os programas de incentivo ao pós-doutoramento também merecem atenção especial.

É fundamental que a comunidade científica desenvolva uma tecnologia própria, adequada às condições tropicais, e mais independente da tecnologia importada. É indesejável a dependência direta da importação de tecnologias

externas, pois estas, geralmente provenientes de regiões de clima temperado, não são adequadas à nossa realidade. Mas, sobretudo, é imprescindível que existam mecanismos para que inovações, aqui obtidas, possam ser transferidas e utilizadas pelo usuário e que haja uma total participação da sociedade neste processo.

## **AGRADECIMENTOS**

Às Sras. Angela Meneses e Rosana Arcoverde, pelo fornecimento de dados estatísticos de bolsistas do CNPq e Capes, respectivamente.

## **BIBLIOGRAFIA**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO AGRÍCOLA SUPERIOR. Guia das instituições de ensino superior: ciências agrárias – graduação e pós-graduação. 8.ed. Brasília, 1998. 167p.

AZEVEDO, J.L. A pesquisa agropecuária no Brasil. São Paulo: FGV, 1993. 63p.

BRANDÃO, A.S. Evolução da agricultura brasileira e papel da tecnologia. In: PATERNIANI, E. (Ed.). Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária. Brasília: EMBRAPA, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 153-168.

CALDAS, R.A. A construção de um modelo de arcabouço legal para ciência, tecnologia e inovação. *Parcerias Estratégicas*, v.11, p. 5-27, 2001.

CASTRO, C.E.F.; BATAGLIA, O.C. Fatores críticos e cenários para a pesquisa agropecuária de São Paulo. São Paulo: SAA, CPA, 1997. 52p.

CHAMBOULEYRON, I. (Org.). Mais vagas com qualidade: o desafio do ensino superior no Brasil; fórum de reflexão universitária. Campinas: UNICAMP, 2001. 122p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. EMBRAPA soja: 2000-2003: II plano diretor. Londrina, 2000. 42p. (EMBRAPA Soja. Documentos, 141).

FUNDO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de atividades. São Paulo, 1999. 96p.

JAMES, C. Global review of commercialized transgenic crops. 2000, ISAAA Briefs, N° 24, ISAAA, Ithaca, NY, 2001. 20pp.

LANDI, F.R. (Coord.). Indicadores de ciência e tecnologia em São Paulo. São Paulo: FAPESP, 1998. 144p.

LEMOS, M.B.; MORO, S. O contexto macro da dinâmica de inovação do sistema agroalimentar no MERCOSUL ampliado. Montevideo: PROCISUR; BID, 2000. 37p. (Série Documentos, 1).

MACHADO NETO, R. Livro da pesquisa ESALQ: 1998/1999. Piracicaba: ESALQ, 1999. 85p.

MALAVOLTA, E. Impacto da pesquisa sobre a fertilidade do solo e nutrição de plantas e adubação. In: PATERNIANI, E. (Ed.). Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária. Brasília: EMBRAPA, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 107-135.

PARRA, J.R.P. Manejo integrado de pragas. In: PATERNIANI, E. (Ed.). Agricultura

brasileira e pesquisa agropecuária. Brasília: EMBRAPA, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 91-101.

PATERNIANI, E. Maize breeding in the tropics. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.9, p. 125-154, 1990.

PATERNIANI, E. Biology and life sciences. In: BRAZILIAN ACADEMY OF SCIENCES. *Science in Brazil*. Brasília, 1999. p. 41-46.

PATERNIANI, E. (Ed.). *Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária*. Brasília: EMBRAPA, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 194p.

PRAY, C.E., D. MA, J. HUANG, F. QIAO. Impact of *Bt* cotton in China. 4<sup>th</sup> International Conference on the International Consortium on Agricultural Biotechnology Research (ICABR). Ravello, Italia, 24-28 Ago. 2000, 2000. 119-143.

SALLES FILHO, S. Política científica e tecnológica para a agricultura. In: WORKSHOP SOBRE CAPACITACIÓN EM ANÁLISIS DE CADENAS AGROALIMENTARIAS MACROECONOMIA, Rio de Janeiro, 1998. Políticas agrícolas em América Latina: trabajos

SILVA, C.G. da; MELO, L.C.P. de (Coord.). *Ciência, tecnologia e inovação: desafio para a sociedade brasileira*; livro verde. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, Academia Brasileira de Ciências, 2001. 278p.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M.A.P. Contribuição do melhoramento genético de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. (Ed.). *Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária*. Brasília: EMBRAPA, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 57-98.

## Os Autores

JOSÉ ROBERTO POSTALI PARRA (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Entomologia pela Esalq/USP e professor no Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola da Esalq/USP.

ERNESTO PATERNIANI. É professor aposentado do Departamento de Genética da Esalq/USP.

JULIO MARCOS FILHO. É professor no Departamento de Produção Vegetal da Esalq/USP. Atualmente é diretor da Esalq/USP.

RAUL MACHADO NETO. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC). É professor no Departamento de Produção Animal da Esalq/USP.





*Academia Brasileira de Ciências*

## Área de Ciências Biológicas

HENRIQUE KRIEGER  
BERNARDO BEIGUELMAN  
ERNEY PLESSMANN DE CAMARGO  
MILTON KRIEGER  
SERGIO ANTONIO VANIN

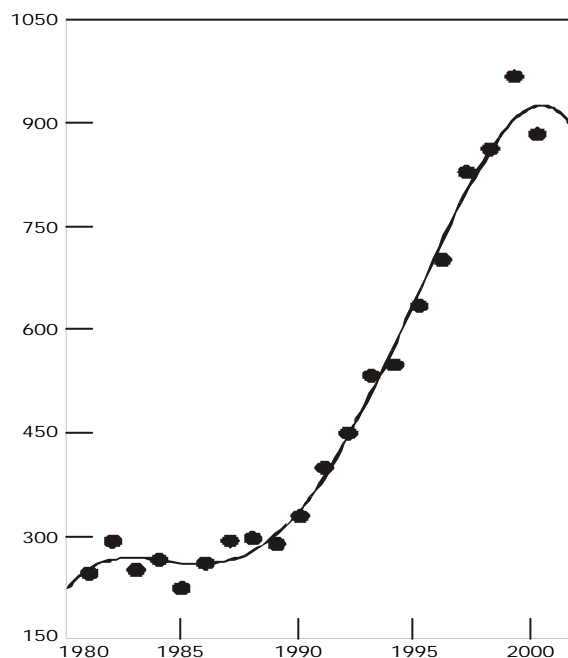
Atualmente, analisar eficientemente os indicadores de Ciência e Tecnologia no campo biológico é tarefa difícil, em decorrência não apenas do desenvolvimento que as ciências biológicas tomaram, mas do grande imbricamento que elas tiveram entre si e com as ciências biomédicas, médicas e agrárias e com a antropologia física. Realmente, o quadro que caracterizou a década de 50 alterou-se muito durante a metade final do século recém-terminado, em decorrência, por um lado, do crescimento exponencial da Genética, que passou a influenciar as pesquisas biológicas de todas as áreas, por causa dos progressos da biologia molecular e da engenharia genética. Por outro lado, vários fatores locais contribuíram, de modo inequívoco, para a qualificação formal de pesquisadores no País. Entre eles, foram de suma importância a criação, a partir da década de 70, de numerosos cursos de pós-graduação, a expansão dos programas de bolsas de estudo, inclusive para a iniciação científica, e os investimentos feitos por instituições oficiais para o custeio de projetos, modernização de laboratórios e infra-estrutura geral necessária à pesquisa.

Além das investigações botânicas e zoológicas que, tradicionalmente, já eram feitas no Brasil, passaram a ganhar ênfase as pesquisas ecológicas sobre padrões de distribuição e padrões ecológicos de diferentes classes de animais.

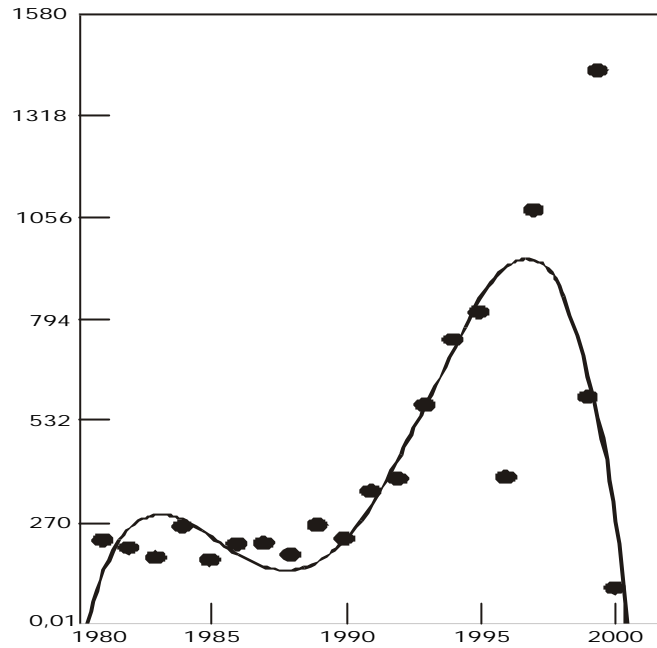
As pesquisas biológicas passaram a interagir intensamente com outras áreas científicas, mormente as das ciências biomédicas, médicas e agrárias e a antropologia física. Essa interação dificulta a adoção pura e simples de valores numéricos para avaliação da produção científica, visto ser frequente a publicação de trabalhos de biologia em revistas que não são formalmente caracterizadas como biológicas. Neste particular vale ressaltar que a Biologia Molecular, de ancestralidade biológica como o próprio nome indica, foi quase que completamente absorvida pelas ciências biomédicas onde

sua produção é registrada e onde será analisada. De qualquer modo, os dados fornecidos pela Academia Brasileira de Ciência a respeito da distribuição, durante o período entre os anos de 1981 e 2000, do número de publicações de pesquisadores brasileiros em ciências biológicas, das citações que elas suscitaram e do impacto das revistas em que os artigos científicos foram publicados, permitem ter uma noção inequívoca da tendência desses indicadores (Figs.1-3).

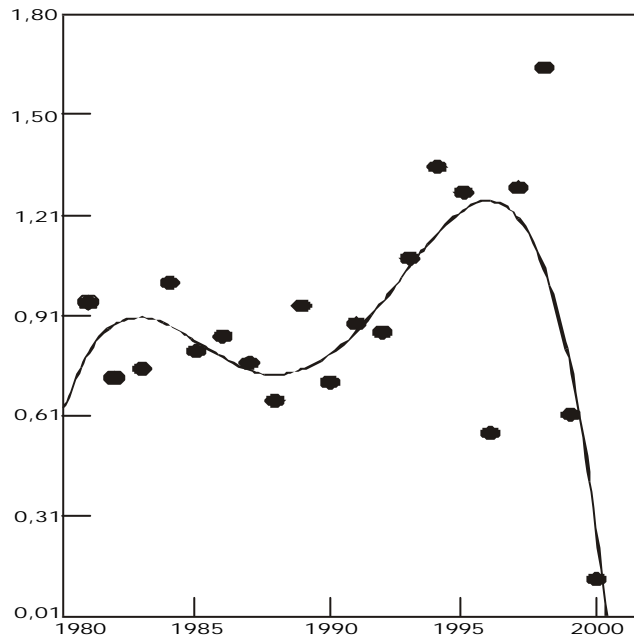
De fato, a Figura 1 permite constatar que o crescimento da quantidade de publicações a partir da segunda metade da década de 80 foi vertiginoso, mas é possível que tenda, agora, para um patamar de estabilidade, porque o decréscimo observado no ano 2000 deve, evidentemente, ser atribuído ao número incompleto de informações sobre esse ano, em decorrência de vários fatores. As citações suscitadas por essas publicações (Fig. 2) também tiveram aumento acentuado a partir dos anos 90, podendo-se atribuir a queda observada nos dois últimos anos ao tempo naturalmente necessário para que elas ocorram. Quanto à queda do impacto médio das publicações, depois de uma tendência de crescimento a partir dos anos 90 (Fig. 3), é possível que se esteja diante de um fenômeno transitório ou que essa queda resulte de maior conscientização dos pesquisadores brasileiros a respeito da falácia do valor desse índice.



**Figura 1** - Distribuição do número de publicações de ciências biológicas durante o período de 1981 a 2000. A regressão que melhor se ajustou foi a polinomial de 4º grau ( $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$  onde  $a = 218,830$ ;  $b = 43,674$ ;  $c = -12,578$ ;  $d = 1,280$ ;  $e = -0,033$ ) com  $s = 30,004$ ;  $r = 0,995$



**Figura 2** - Distribuição do número de citações suscitadas pelas publicações de ciências biológicas durante o período de 1981 a 2000. A regressão que melhor se ajustou foi a polinomial de 4º grau ( $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$  onde  $a = -98,935$ ;  $b = 304,291$ ;  $c = -76,816$ ;  $d = 6,818$ ;  $e = -0,185$ ) com  $s = 216,997$ ;  $r = 0,834$



**Figura 3** - Distribuição do impacto das publicações de ciências biológicas durante o período de 1981 a 2000. A regressão que melhor se ajustou foi a polinomial de 4º grau ( $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$  onde  $a = 0,603$ ;  $b = 0,248$ ;  $c = -0,067$ ;  $d = 0,006$ ;  $e = -0,00017$ ) com  $s = 0,269$ ;  $r = 0,693$

## **A IMPORTÂNCIA DA SISTEMÁTICA (ZOOLOGICA, BOTÂNICA E DE MICRORGANISMOS) PARA O ESTUDO DA BIODIVERSIDADE**

Os seres humanos compartilham a terra com cerca de um milhão e meio de outras espécies já descritas e nomeadas pelos sistematas. Esse número, que pode parecer muito grande para a maioria das pessoas, acostumadas a identificar apenas alguns poucos mamíferos, aves, peixes, árvores, arbustos e fungos, representa apenas uma pequena fração do total existente, de cinco a cem milhões de espécies. Qual o número real, talvez nunca venhamos a saber. Até o momento, as evidências indicam que a grande maioria dos organismos ainda desconhecidos vive nas zonas tropicais, em especial nas florestas pluviais, como a Amazônia e a Mata Atlântica. Um único exemplar de árvore da floresta amazônica pode albergar centenas de espécies de insetos, e sob ela, na serapilheira e no solo, outras centenas de espécies de pequenos ácaros, colêmbolos, insetos, nemátodes e microrganismos. Considerando-se que em um hectare dessa floresta podem viver mais de uma centena de diferentes espécies de árvores, pode-se inferir que a riqueza de espécies é enorme! Não se pode ignorar, entretanto, as muitas espécies ainda desconhecidas que vivem nos variados ecossistemas oceânicos, das plataformas continentais às regiões abissais, alguns comprovadamente ricos como os arrecifes de corais e os manguezais.

Essa diversidade de formas é resultante de mais de três bilhões de anos de história evolutiva, mas da qual se conhece apenas alguns fragmentos. As relações complexas entre as espécies e o meio são razoavelmente compreendidas para alguns organismos de maior interesse para o homem, mas desconhecidas para a grande maioria das espécies. A vida do homem depende da existência de boa parte dessas espécies. Embora desconhecidas, estão intrinsicamente ligadas à formação e manutenção da atmosfera, do clima, e das características físicas da Terra. O homem vem utilizando, desde a antiguidade, uma pequena fração da biodiversidade para sua alimentação, vestimenta e moradia, através das atividades agropecuárias, pesqueiras e florestais. Essas atividades são responsáveis pela movimentação de boa parte da economia. Mais recentemente, outras espécies vêm tendo uso crescente no desenvolvimento biotecnológico, e muitas mais poderão ser úteis ao homem.

O Brasil é um dos países com maior diversidade biológica, pois nele ocorrem cerca de 20% das espécies do planeta. As tarefas de descobrir, descrever as características morfológicas e anatômicas, conhecer a história natural, ecologia, comportamento e distribuição geográfica da maioria dessas espécies ainda estão por ser realizadas. A urgência desse empreendimento fica ainda mais evidente se considerarmos que o planeta está sofrendo um rápido declínio de sua biodiversidade. A ação do homem está acarretando o

desaparecimento de vários habitats na busca de novos espaços, especialmente nas regiões tropicais. As atividades antrópicas, no mundo todo, acarretam a poluição dos continentes e oceanos, tornando o ambiente insuportável para muitas espécies.

Mas não basta obter os dados. Uma vez coligidos, eles devem ser sintetizados e armazenados através de classificações que reflitam a história evolutiva, possibilitando recuperar as informações indexadas e elaborar previsões de interesse para a ciência e para a sociedade. A teoria da sistemática sofreu profundas modificações a partir de 1950, quando o entomólogo alemão Willi Hennig revolucionou o estudo da sistemática e das classificações biológicas. Para ele, os problemas de sistemática devem ser solucionados mediante uma análise racional, e não mediante escolha subjetiva entre opiniões distintas, com base na experiência e no prestígio dos autores. Hennig mostrou que a classificação dos organismos está relacionada com a compreensão do parentesco filogenético. A diversidade existente é o resultado do processo de ramificação das espécies ancestrais em espécies descendentes. Assim, todas as características que podem ser observadas nas espécies, e utilizadas para classificação, surgem no decurso da filogenia. O uso de algumas semelhanças escolhidas aleatoriamente para elaborar um sistema de classificação, não implica em que se possa compreender os padrões das outras características existentes. Entretanto, o uso da filogenia possibilita entender a evolução de todos os caracteres. Se a classificação biológica tiver por objetivo produzir um sistema geral de referência, ela deverá se fundamentar na filogenia. Tal classificação será útil para o sistemata, para o biólogo em geral, e para os pesquisadores das demais áreas correlacionadas à Biologia. Servirá como um ponto de ligação para todos aqueles interessados em algum aspecto da biodiversidade.

As idéias iniciais de Hennig e seu método filogenético foram e estão sendo aperfeiçoadas por autores subseqüentes, graças aos avanços nos fundamentos teóricos e às melhorias da computação. Mais recentemente, métodos moleculares foram desenvolvidos, possibilitando o conhecimento da filogenia ao nível dos genes, e estão sendo utilizados em escala crescente. Em consequência, a reconstrução filogenética ficou acessível a biólogos não treinados no campo da Sistemática. Alguns sistematas vêem a probabilidade de um decréscimo de interesse e de investimento nos estudos baseados em morfologia, principalmente porque os procedimentos com dados moleculares possibilitam obter filogenias muito mais rapidamente. Esse quadro levaria à extinção dos especialistas em determinados táxons, e no estudo centrado nos organismos. Persistiria o estudo dos processos evolutivos e dos genes. Como existem evidências de que as árvores de genes e as árvores de organismos podem ser diferentes, embora expressem histórias evolutivas reais e igual-

mente relevantes para a compreensão da biodiversidade, seria uma lástima que parte da informação não fosse pesquisada e obtida. Outro aspecto é que, em geral, biólogos moleculares não estão voltados para a obtenção de classificações, que como vimos, são fundamentais para criar um sistema de recuperação das informações biológicas. Um fortalecimento e cooperação entre pesquisadores envolvidos em estudos moleculares e de organismos seria altamente vantajoso para a compreensão da biodiversidade.

As informações reunidas sobre a biodiversidade poderão ser de grande utilidade, sob diversos aspectos. As espécies novas descobertas representarão um incremento nos recursos genéticos potencialmente exploráveis pelo homem; algumas delas poderão ser selecionadas e diversificar a produção agrícola; outras possibilitarão a descoberta de novas substâncias que poderão ser utilizadas em medicina. Estudos pormenorizados sobre espécies novas possibilitarão a utilização de organismos potencialmente úteis para serem utilizados no controle biológico de espécies-praga; ampliarão as informações disponíveis pelos responsáveis pela elaboração de políticas de conservação e manejo do ambiente; possibilitarão a formação de um banco de dados mais completo, a ser empregado no monitoramento do ambiente, permitindo a estimativa de degradação e da taxa de extinção das espécies.

Um conhecimento mais completo sobre a sistemática das espécies, suas relações de parentesco e ecologia, possui um grande potencial econômico. Seguem dois exemplos, dentre os vários disponíveis.

1) Uma expedição de botânicos americanos coletou em 1962, nos Andes, mais de mil amostras de plantas. Entre estas, foram colecionadas sementes de uma nova espécie de tomate silvestre, *Lycopersicon parviflorum* Rick. Essa nova espécie foi cruzada com o tomate comum. Os híbridos obtidos apresentaram um aumento no conteúdo de sólidos solúveis, principalmente frutose, glicose e outros açúcares, característica de grande valor econômico para a indústria do tomate. Após seleção cuidadosa, foi colocado à disposição dos horticultores uma variedade de tomate com 7 a 7,5% a mais de sólidos solúveis. Segundo especialistas, os novos genes encontrados na espécie nova de tomate estariam rendendo, por ano, cerca de oito milhões de dólares. Uma cifra sensivelmente superior aos vinte e um mil dólares, custo da expedição de um ano aos Andes, subvencionado pela National Science Foundation (Fundação Nacional para a Ciência).

2) Se não houver informação sistemática precisa a respeito das relações entre os parasitas e seus vetores, os esforços despendidos no controle do parasita resultarão em perda de tempo e dinheiro. Um caso clássico é o do controle de mosquitos transmissores da malária na África (*Anopheles gambiae*), Estados Unidos da América (*A. quadrimaculatus*), Índia (*A. culicifacies*) e Tailândia (*A. dirus*). Medidas efetivas de controle só puderam ser implanta-

das após a constatação de que cada “espécie” representava, na realidade, um complexo de espécies, cada qual com diferentes ecologias e potenciais para transmitir malária.

O entendimento de como funcionam os ecossistemas implica na compreensão de como interagem milhares de espécies. Entretanto, a dificuldade na identificação, até das espécies mais abundantes, acarreta dificuldades para indexar as informações obtidas e, principalmente, possibilitar comparações. A espécie apresentada como de número 1234 em um trabalho poderá ser idêntica à referida como número 4321 em outro, mas essa informação não fica disponível. Apenas a identificação precisa e o uso do nome científico permitem indexar e recuperar a informação biológica. Identificações precisas, dados ecológicos e de distribuição geográfica são essenciais para os conservacionistas fundamentarem quais áreas devem ser preservadas, quais espécies necessitam de medidas particulares de proteção. Identificações precisas e conhecimentos acurados sobre a auto-ecologia das espécies são fundamentais para a pesca. A indústria pesqueira que atua na região do Golfo do México e leste dos Estados Unidos da América interessou-se pela exploração de certa espécie de cavala (peixe escombrídeo), e baseou-se nos dados publicados disponíveis, obtidos no Brasil. Entretanto, um estudo sistemático demonstrou que a população brasileira (*Scomberomorus brasiliensis*, sororoca) representa uma espécie distinta da população norte-americana (*S. maculatus*, “spanish mackrel”). As diferenças biológicas existentes entre as duas espécies são suficientes para tornar inadequados os procedimentos de manejo da espécie setentrional se baseados nos dados existentes sobre a espécie meridional.

Outro exemplo para ressaltar a importância das identificações precisas. Uma samambaia aquática, nativa do Brasil, foi introduzida na Austrália por volta de 1950. Estava sendo utilizada por aquaristas, mas escapou ao controle e tornou-se uma praga séria, obstruindo rios e lagos australianos, atrapalhando o transporte, a pesca e a recreação. Durante cerca de 20 anos todas as tentativas de controlar a praga foram infrutíferas, mesmo com utilização de controle biológico. Posteriormente, verificou-se que a planta havia sido identificada incorretamente. Tratava-se de *Salvinia molesta* e não *S. natans*, ambas com distribuição geográfica distintas no continente sul-americano. Após o estudo dos inimigos naturais de *S. molesta* no sudeste do Brasil, encontrou-se um controlador efetivo, uma nova espécie de gorgulho, *Cyrtobagous salvinae*. Após estudos em laboratório e no campo, esse besouro foi introduzido em 1980, e rapidamente controlou as populações da samambaia aquática. A primeira introdução do gorgulho foi efetuada no Lago Moondarra (Queensland). Em 14 meses, as 19.000 toneladas iniciais de *S. molesta* foram reduzidas para menos de uma tonelada!

Estudos sobre a biodiversidade baseiam-se no conhecimento das taxas, em suas relações de parentesco, classificação, distribuições geográficas passadas e presentes, e na compreensão de como atuam nos ecossistemas em que ocorrem. Para a imensa maioria dos organismos, essa informação está apenas disponível nas coleções biológicas. Essas coleções seriadas de organismos, juntamente com as bibliotecas e bancos de dados acoplados a elas, representam o único registro permanente da nossa biota. Constituem um investimento da sociedade para a compreensão do mundo natural. Proporcionam o registro de eventuais alterações ocorridas em comunidades ou ecossistemas, pois atuam como documentos, possibilitando a leitura dessas alterações ambientais ao longo do tempo, e podem evidenciar possíveis extinções. As coleções também devem armazenar o material-testemunho relacionado com a obtenção das informações biológicas para as áreas aplicadas, como epidemiologia (vetores e patógenos), parasitologia (parasitas), agronomia (pragas animais e vegetais, espécies que atuam em controle biológico). Em caso de dúvida ou incongruência em relação a uma certa característica biológica, a identificação pode ser verificada. Infelizmente, esse procedimento ainda não é seguido pela maioria dos pesquisadores brasileiros, que não têm o hábito de depositar material-testemunho de suas pesquisas em coleções institucionais. Outra importância das coleções de organismos é que elas podem servir de base para programas de educação ambiental, despertando a consciência ecológica dos cidadãos. Isso pode tornar-se ainda mais efetivo com a utilização de exemplares vivos dos zoológicos, jardins botânicos, e aquários. Outras coleções importantes são as culturas de microrganismos e depósitos de tecidos congelados.

## **USO E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE**

A diversidade biológica é a variedade e variabilidade de todas as formas de vida na terra, tanto selvagens como domesticadas pelo homem. Engloba, portanto, as espécies de plantas, animais e microrganismos, bem como os ecossistemas e processos ecológicos dos quais são componentes. A relação que essas espécies mantêm entre si e com o ambiente é de uma complexidade enorme e apenas agora começa a ser entendida.



Número de espécies identificadas no mundo

microorganismos	5.760
invertebrados	1.020.561
plantas	322.311
peixes	24.618
pássaros	9.702
répteis e anfíbios	10.484
mamíferos	4.629

fonte: Atlas of the environment

Número de espécies	milhões
estimado	30
catalogados	1.4

fonte: Atlas of the environment

Os fragmentos florestais são hoje, praticamente, o último refúgio de biodiversidade terrestre. No Estado de São Paulo, apenas 7% das matas naturais ainda existem e apresentam todo tipo de fragmentação. As populações contidas nesses fragmentos estão sujeitas a toda sorte de distúrbios na sua estrutura genética.

A grande pressão decorrente do crescimento populacional, com a conseqüente perda de *habitats* causados por toda sorte de atividades humanas, põe em risco boa parte da diversidade do globo. Caso este processo não seja revertido, no prazo de algumas décadas, espera-se o desaparecimento de uma parte considerável da diversidade genética. Embora a extinção de espécies, seja considerada por alguns como efeito colateral do desenvolvimento, já se sabe que as conseqüências desse processo para vários tipos de atividade humana são extremamente sérias.

Três aspectos da diversidade biológica têm sido comprometidos pela ação direta do Homem, ou seja: a diversidade genética dentro de cada espécie, a diversidade entre espécies e a diversidade de ecossistemas. A conservação do germoplasma *in situ* visa conservar a diversidade genética, em sua forma natural, mediante a proteção dos ecossistemas. A conservação genética de uma espécie implica ainda no conhecimento da variação genética entre e dentro de suas populações. Sendo assim, deve-se conhecer: 1) O número de indivíduos que formam uma população mínima viável; 2) Como estão distribuídos esses indivíduos nas populações naturais; 3) Como é a dinâmica das populações em seu *habitat* natural.

Coincidentemente com o fato de que existe uma considerável melhora na qualidade e quantidade do material sendo estocado nos bancos de germoplasma dos países avançados, a perda de diversidade genética nos países

em desenvolvimento (onde existe maior diversidade *in situ*), por varias razões, tem se agravado drasticamente. Como se sabe, o acesso ao material genético armazenado pelos países ricos pode, no futuro, não ser muito fácil. Desse modo, faz-se necessário que os países em desenvolvimento preservem seus recursos genéticos. Considerando-se que grande parte da diversidade biológica do mundo se encontra nesses países, e que esses países têm poucos recursos técnicos e financeiros, o melhor processo é a conservação *in situ*.

### CONSERVAÇÃO *IN SITU*

A melhor e mais barata maneira de se conservar a diversidade biológica nos seus três níveis (ecossistemas, comunidades e espécies) seria prevenir a destruição da natureza. Entretanto, devido ao falso dilema ambiente *vs* desenvolvimento, a natureza tem sempre levado a pior.

Esse processo de degradação ambiental, em nome do desenvolvimento, já é conhecido desde o século XIX, quando nos Estados Unidos foi criado o primeiro parque nacional, o famoso Parque Nacional de Yellowstone. No Brasil, no mesmo século XIX, foi criado, por D.Pedro II, o Parque Nacional da Tijuca. Esse parque é hoje a maior unidade de conservação dentro de uma área urbana no mundo.

A conservação da natureza em seu próprio ambiente é conhecida como conservação *in situ*, e é a maneira mais eficiente de proteção da biodiversidade, pois além de conservar as espécies, protege também o seu *habitat* natural, assim como as interações entre as espécies, que em muitos casos são totalmente desconhecidas.

A partir da década de 80, estudos de vários pesquisadores têm apontado a importância da conservação *in situ* da biodiversidade, várias áreas foram indicadas, desde então, como prioritárias. Foi Norman Myers quem em 1988, referiu-se de forma sistemática a essas áreas, que ele denominou "hot spot". Myers indicou 18 dessas áreas, que embora coletivamente representem um espaço irrisório da área global da Terra (menos de 0.5%), são, ao mesmo tempo, o lar exclusivo de 1/5 das espécies vegetais do mundo:

1. Província Florística da Califórnia
2. Chile Central
3. Chocó Colombiano
4. Oeste do Equador
5. Planaltos do Oeste da Amazônia
6. Costa Atlântica do Brasil
7. Sudoeste da Costa do Marfim
8. Florestas do Arco Leste da Tanzânia

9. Província florística do Cabo na África do Sul
10. Madagáscar
11. Vertentes do Himalaia
12. Oeste da Índia
13. Sri Lanka
14. Malásia peninsular
15. Noroeste de Borneo
16. Filipinas
17. Nova Caledônia
18. Sudoeste da Austrália

*fonte: Myers 1988*

Em 1997, a “Conservation International(CI)” lançou o mapa “hot spots” indicando 18 áreas atualizadas, que somam menos de 2% da superfície do planeta, em sua maioria situadas na região tropical contendo, porém, mais de 50% de toda diversidade biológica terrestre.

Os critérios principais da lista são a existência de espécies endêmicas e o grau de ameaça a que essas espécies estão sujeitas. A destruição de 75% da cobertura vegetal original de uma região de grande diversidade também coloca a região na lista “hot spots”.

1. Floresta Meso-Americana (México e América Central)
2. Polinésia e as Ilhas da Micronésia, incluindo Havá e Fiji
3. Chocó (Colômbia e Equador) e Oeste do Equador
4. Andes tropicais (Venezuela, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia)
5. Cerrado (Brasil)
6. Mata Atlântica (Brasil)
7. Selva de Guiné (África)
8. Darien (Panamá)
9. Antilhas
10. África do Sul
11. Madagáscar (região oeste do Cabo)
12. Ghats da Índia e Ilha de Sri Lanka
13. Filipinas
14. Oeste da região de Sunda (Indonésia, Malásia e Brunei)
15. Leste da região de Sunda (Indonésia)
16. Região leste do Mediterrâneo
17. Nova Caledônia
18. Sudoeste da Austrália

*Fonte: Conservation International, 1997*

Constata-se nove pontos diferentes da lista de Myers. Entre estas diferenças, há a presença de dois biomas brasileiros (Mata Atlântica e Cerrado). A Amazônia ficou de fora pois ainda apresenta mais de 75% da sua cobertura original.

### **BANCOS DE GERMOPLASMA (*EX SITU*)**

Geralmente, são centros ou instituições públicas e privadas que conservam material genético acesso-amostra de germoplasma representativa de um indivíduo ou de vários indivíduos de uma população. Em caráter mais geral, qualquer registro individual constante de uma coleção de germoplasma.

Pioneiro na coleta e conservação dos recursos genéticos vegetais foi N.I. Vavilov (1887-1943), agrônomo e geneticista russo, que coletou e estudou a origem das plantas cultivadas. Em suas viagens Vavilov coletou cerca de 70 mil acessos de plantas com algum interesse agrônomo, ou seja, não só a variedade cultivada, como também formas silvestres ou espécies dentro de um mesmo gênero, como, por exemplo *Glycine gracilis* e *G. soja*. *G. tomentella*, espécies do gênero *Glycine* ao qual pertence a soja *G. max*. Essas espécies são fontes de genes de importantes cruzamentos entre estas espécies, apesar da baixa fertilidade produz sempre indivíduos viáveis. Alguns autores defendem a idéia de que o que chamamos de *G. max* na verdade são variedades cultivadas de *G. gracilis*, ou seja, a espécie *max* não existe, sendo apenas a forma domesticada. O mesmo ocorre com outras culturas como banana, onde espécies do gênero *Musa* são coletadas em varias partes do mundo, inclusive no Brasil, que não é centro de origem da banana.

Depois do processamento e organização de todo o material coletado em suas várias viagens pelo mundo, Vavilov identificou oito centros de origem das plantas cultivadas, que ficaram também conhecidos como centros de Vavilov. São regiões onde o ancestral silvestre exibe a maior diversidade genética para um número seletivo de características, diminuindo a variabilidade à medida que se desloca para a periferia da distribuição, e são, até hoje, a primeira referência para quem quer coletar espécies de interesse agrônomo. Na década de 70, Harlan e de Wet, ampliaram para 12 as regiões de Vavilov, e passaram a chamar essas regiões de centros de diversidade. Esses autores usaram como critério o número elevado de espécies de um gênero ou de gêneros de uma família, contrastando com sua menor frequência em outras regiões. Não se deve confundir centro de diversidade com centro de domesticação. Muitas culturas (por exemplo a seringueira) foram domesticadas independentemente por vários grupos humanos, em épocas e áreas diferentes, como decorrência da grande distribuição geográfica da espécie.

Essa origem é chamada de acêntrica (non-centric). Outras culturas como o tomate foram domesticadas fora da “área de ocorrência natural das formas silvestres”.

## **USO DA BIODIVERSIDADE**

O Homem é de longe o ser vivo que mais utiliza a biodiversidade, quer na agricultura, farmácia, processos industriais, plantas ornamentais etc. Ele utiliza cerca de mil espécies, número baixo, mesmo se considerando o valor mínimo estimado de cinco milhões de espécies. Portanto, o potencial da biodiversidade para utilização pela humanidade é enorme, sendo necessário, porém, maior conhecimento do uso potencial da biota.

A primeira planta a ser domesticada foi provavelmente o trigo no Oriente Médio, no Neolítico há dez mil anos, e desde então é a principal cultura agrícola. É a planta mais cultivada no mundo e base alimentar de quase todas as regiões e culturas humanas. O Brasil já foi auto-suficiente em trigo, mas hoje tem uma produção limitada desse cereal. O trigo e o grão de bico foram domesticados no Oriente Médio, a soja e o arroz na Ásia e o milho e feijão no Novo Mundo. Esses três processos de domesticação ocorreram de maneira totalmente independente. É interessante notar que nesses três centros de domesticação, por coincidência ou não, foram domesticados simultaneamente um cereal e uma leguminosa, que se complementam nutricionalmente como fontes de carboidratos e proteínas.

## **RECOMENDAÇÃO SOBRE OS CUIDADOS COM A INTERAÇÃO UNIVERSIDADE-EMPRESA**

Regra geral, as conquistas fundamentais das Ciências Biológicas têm demorado mais tempo para serem aplicados do que as obtidas em áreas como as da Física e da Computação, como consequência, principalmente, de dificuldades naturais de natureza complexa (interações ambiente-ser vivo, multifatorialidade generalizada de processos biológicos importantes), além de causas éticas e políticas. Nesse aspecto, a Genética molecular constitui exceção, porque suas técnicas propiciam a transferência extremamente rápida da descoberta científica para a produção industrial, o que, em outras áreas, pode levar anos. Visto que no Brasil existe atualmente uma tendência para estimular, entre nós, a cópia de modelos de relacionamento entre as universidades e as empresas, criados nos Estados Unidos, isto é, de um lado a formação de pequenas companhias de Biotecnologia nas quais têm partici-

pação professores universitários e, de outro, os convênios dos departamentos universitários com grandes multinacionais, parece importante que a comunidade científica esteja alerta para os dilemas éticos criados por esse relacionamento espúrio, os quais já foram fartamente analisados por alguns autores norte-americanos, como Kenney (*J. Business Ethics* 6: 12-135, 1987) e Rule (*Dissent*: 430-436, 1988). É a grande diferença entre os padrões morais pelos quais se pauta uma universidade e pelos quais se guia uma empresa, o que faz com que os papéis sociais desempenhados por um empresário e por um professor sejam julgados por sistemas éticos muito diferentes, sendo numerosas as situações em que a ética empresarial se choca frontalmente com a universitária. Assim, por exemplo, o dever primário de uma empresa é dar lucro, mas a preocupação com o lucro não pode ser trazida para a universidade, pois ela fere os padrões éticos aos quais ela está sujeita.

#### **RECOMENDAÇÕES A RESPEITO DO CERCEAMENTO DA CRIATIVIDADE CIENTÍFICA**

A demonstração de que a comunidade científica brasileira pode ser arregimentada rapidamente, mesmo em tempos de paz, para alcançar objetivos definidos e que não há dificuldades intransponíveis para os pesquisadores de nossas universidades trabalharem em conjunto, apesar de distribuídos em cidades diferentes, foi dada pelo grande sucesso do programa genoma da *Xylella fastidiosa*, apoiado e incentivado pela Fapesp. Esse sucesso, que teve justa e grande repercussão, evidentemente, foi parcial, pois, ainda não pôde impedir que, até 2003, sejam arrancados, no Estado de São Paulo, 42 milhões de pés de laranja (24% do total de árvores plantadas) afetados pelo “amarelinho”, que é o nome pelo qual é comumente conhecida a doença causada pela *Xylella fastidiosa* (clorose variegada dos citros).

De qualquer modo, parece aconselhável não permitir que a repercussão da façanha científica paulista no desvendamento do genoma dessa bactéria passe a estimular os laboratórios de várias universidades brasileiras a se dedicar, basicamente, a um trabalho de seqüenciamento de novas espécies, concorrendo, desse modo, para que numerosos jovens dediquem a maior parte de seu tempo a um volumoso trabalho de rotina repetitiva e supressora da criatividade.

O poder de arregimentação demonstrado pela Fapesp no caso *Xylella* e que já fora, há mais tempo, utilizado pelo CNPq, ao desencadear um processo de criação científica de altíssimo nível centrado na solução de problemas nossos (Programa Integrado de Doenças Endêmicas, PIDE), pode, evidentemente, ser estendido aos problemas prioritários levantados por traba-

lho interdisciplinar, para a solução dos quais os cientistas brasileiros podem dar contribuição importante.

### **RECOMENDAÇÃO A RESPEITO DE PROJETOS INTERDISCIPLINARES**

O projeto interdisciplinar diferencia-se do multidisciplinar porque, neste último, vários pesquisadores trabalham independentemente na exploração de diferentes aspectos de um problema, enquanto que o trabalho interdisciplinar requer um grau de organização e amplitude maior, já que os diferentes aspectos de um problema devem ser, obrigatoriamente, discutidos e criticados em conjunto pelos especialistas de nível semelhante que nele trabalham em função de objetivos bem especificados. Um exemplo de projeto interdisciplinar é o de desenvolvimento de processos microbiológicos para a recuperação de metais não ferrosos em minérios e de metais pesados em lixo industrial, antes que esse último seja lançado no ambiente, visto que, para isso, são necessárias:

1. Análises genéticas, citológicas e bioquímicas de linhagens microbianas que interagem com metais pesados.
2. Cinética do crescimento microbiano em meios contaminados.
3. Planejamento de bio-reatores em escala industrial para a recuperação de metais preciosos e tóxicos (prata, ouro, cádmio, cobre, zinco etc.).
4. Desenvolvimento de processos metalúrgicos baseados na biolixiviação para a recuperação de metais.

### **RECOMENDAÇÕES A ESTUDOS DE SISTEMÁTICA E BIODIVERSIDADE**

A principal responsabilidade pelo estudo da biota brasileira cabe aos cientistas brasileiros. Na base dos estudos de biodiversidade está a sistemática. O número de sistematas brasileiros é pequeno e corre o risco de diminuir devido ao limitado incentivo e poder de atração da área, que perdeu parte de seu prestígio pela monotonia dos trabalhos taxonômicos do passado. Medidas importantes para estimular pesquisas e formação de pessoal no setor seriam:

Incentivar a introdução de disciplinas que ministrem os fundamentos da Sistemática e Biogeografia nos cursos de graduação em Ciências Biológicas. Isso poderá despertar o interesse dos estudantes para uma área que, em geral, não é abordada nas universidades.

Incorporação das ferramentas da Biologia Molecular ao ensino e prática da Taxonomia. A Biologia Molecular é certamente um dos maiores atrati-

vos para estudantes e jovens pesquisadores nas áreas Biomédicas e Biológicas em geral. Suas possibilidades de aplicação na solução de problemas dessas áreas exerce grande fascínio sobre jovens pesquisadores, haja vista a facilidade com que a Fapesp recrutou e montou grupos de pesquisa para o estudo do genoma da *Xylella*, em grande maioria grupos jovens. Por outro lado, as ferramentas da Biologia Molecular têm grande poder de análise da organização genômica e sendo o genoma o cadinho da evolução, técnicas de análise de alvos genômicos se aplicam ao estudo da evolução e da relação de ancestralidade/descendência entre as espécies, isto é de sua filogenia. Infelizmente o Brasil ainda não incorporou plenamente os recursos da Biologia ao estudo da sistemática. São poucos os grupos no País capazes de dar um tratamento molecular à filogenia. A Taxonomia Molecular não deve deslocar a Taxonomia clássica centrada em caracteres morfológicos mas ambas devem se associar para dinamizar e dar consistência aos estudos filogenéticos. Se à carência de taxonomistas clássicos se somar a ausência de taxonomistas moleculares será inútil qualquer tentativa do País de conhecer sua biodiversidade.

A Biologia Molecular pode ser necessária para o estudo da sistemática mas não é suficiente. Os dados por ela gerados têm que ser processados. A Bioinformática cumpre esse papel. Essa disciplina começa a crescer entre nós e igualmente desperta grande fascínio entre estudantes e jovens biólogos, particularmente aqueles com pendores matemáticos. Ela foi consideravelmente impulsionada no País também pelo projeto *Xylella* da Fapesp e mais acentuadamente agora pelo Programa Genoma-câncer. Com o seqüenciamento dos genomas começa o verdadeiro trabalho do entendimento de sua organização e funcionamento. Pela dimensão da tarefa e sua complexidade, isto só pode ser feito com os instrumentos de dissecação e análise da informática. Assim ganhou espaço a Bioinformática, cujos recursos se aplicam igualmente bem à sistemática e à filogenia. Os programas estatísticos de análise filogenética são cada vez mais complexos e devem ser constantemente aprimorados. Ao contrário da produção de dados moleculares, a produção de programas de análise filogenética é uma área em que o Brasil ainda não compete, utilizando programas gerados no primeiro mundo. É absolutamente fundamental que esta área se desenvolva entre nós se de fato quisermos conhecer e analisar nossa biodiversidade. É altamente recomendável que cursos de biologia contemplem disciplinas de Bioinformática e que programas especiais das agências financiadoras incentivem o desenvolvimento da área no País.

Porém, não basta formar pessoal. É preciso assimilá-los às universidades e institutos de pesquisa. De novo seria o caso de as agências financiadoras e os ministérios da área promoverem programas especiais de contratação prioritários aos pesquisadores na área de Bioinformática.



Outro problema que conspira contra a correta apreciação de nossa biodiversidade é o da publicação e divulgação de pesquisas na área. O trabalho do sistemata é exatamente o de classificar e posicionar corretamente novas espécies e, quando necessário, reorganizar a distribuição das já conhecidas. O trabalho básico e cotidiano de descrição de novas espécies não encontra espaço em publicações internacionais de grande circulação, o que contribui para a frustração dos sistematas. Porém, sem descrição e posicionamento taxonômico de espécies não é possível a avaliação da biodiversidade, da ecologia e de melhoramentos genéticos. Se o País realmente se compenetrar na importância do estudo de sua biodiversidade seria o caso de patrocinar ou produzir um veículo especial para a divulgação dos estudos nessas áreas.

Corolário ao estudo da biodiversidade é sua documentação adequada. Isso inclui, além das publicações, as coleções seriadas de organismos, desde microrganismos (coleções de culturas e material fixado e conservado) até primatas, com todas as escalas intermediárias animais e vegetais (museus, zoológicos, jardins botânicos e reservas biológicas). Essas coleções são caras e as Instituições que as mantêm tem notórias dificuldades em mantê-las e ampliá-las dentro de seus orçamentos. Por outro lado, não é muito popular entre as agências financiadoras apoiar coleções de organismos. Deveria ser, e programas nesse sentido devem ser incentivados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kenney, M. - The ethical dilemmas of university-industry collaborations. *Journal of Business Ethics* 6: 127-135, 1987.

Rule, J.B. - Biotechnology: big money comes to the university. *Dissent (Dissent Publ. Corp.)*: 430-436, 1988.

Hennig, W. 1950. Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik. Deutscher Zentralverlag, Berlin.

Work Bank, 1992. Work development report. *New York. Oxford University press*. 286 p.

Conservation International, 1997. Annual report Conservation International, Washington, d.c. 421 p.

Wilson, E.O. (a situação atual da diversidade biológica, 3-24 p. **in** Wilson, E.O. (ed) Biodiversidade - Editora Nova Fronteira, RJ, 1997 - 657 págs.

## Os Autores

HENRIQUE KRIEGER (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor pela Universidade de Hawaii (EUA) e professor no Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (USP).

BERNARDO BEIGUELMAN. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Ciências Médicas pela Universidade de São Paulo (USP), professor na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e professor visitante na USP.

ERNEY PLESSMANN DE CAMARGO. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Ciências Médicas pela Universidade de São Paulo (USP) e professor na Escola Paulista de Medicina e também na USP.

MILTON KRIEGER. É engenheiro agrônomo pela Universidade Bandeirantes do Paraná e coordenador do Núcleo de Apoio às Atividades de Cultura e Extensão Universitária da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP).

SERGIO ANTONIO VANIN. É doutor em Entomologia pelo Instituto de Biociências (USP), professor e chefe do Departamento de Zoologia (USP).

*Academia Brasileira de Ciências*

## Área de Ciências Biomédicas

WALTER ZIN

DORA FIX VENTURA

HERNAN CHAIMOVICH

JACQUELINE LETA

*If you think that basic biomedical research is expensive, try disease.*  
*A. Kornberg*

O foco central da pesquisa científica fundamental (ou básica) é propiciar o avanço do conhecimento e a motivação para pesquisar é a curiosidade do cientista. O novo saber poderá contribuir para metas mais amplas, alcançáveis, geralmente, apenas através de cadeias complexas, exigindo a contribuição de diversas atividades e instituições para chegar a aplicações práticas.

A relação entre o avanço do conhecimento e a inovação é complexa e não será aqui analisada. Contudo, é importante notar que a parcela de exportações brasileiras no mercado global tem decrescido regularmente passando de 1,7%, em 1984, para 1,0%, em 1996 (Horta MH e de Souza CF, 2000). Essa diminuição se dá apesar da incorporação de tecnologia em alguns setores como o agrícola/animal, mineral e aeronáutico. Aumentar o conteúdo tecnológico, através da incorporação de conhecimento é, portanto, um desafio estratégico para um país continental que deve, ao mesmo tempo, competir num mercado global, cada vez mais dominado pelo conteúdo de conhecimento, e enfrentar gigantescos desafios sócio-econômicos internos.

Em particular, a pesquisa biomédica tem contribuído de forma significativa para a nossa compreensão dos meios e métodos que auxiliam na diminuição da morbidade e da mortalidade, causadas por algumas doenças, bem como no aumento da expectativa de vida com qualidade.

Todavia, a pesquisa biomédica voltada para a clínica, por si só, não é suficiente para reduzir, por exemplo, a mortalidade infantil. Muitas outras atividades fazem-se necessárias, dentre elas a transferência de resultados da pesquisa científica para a prática médica, o desenvolvimento e a difusão de aparelhos e/ou produtos médicos e a educação dos pais. Outros fatores, também necessários, são a manutenção da gravidez até a maturidade física do feto, uma cultura social capaz de absorver novos procedimentos médicos

ou diretrizes de saúde e, provavelmente, o fator mais importante, recursos financeiros adequados para assegurar que todas as mães e bebês tenham acesso garantido a tratamento médico e alimentação de qualidade inquestionável.

É fato que onde o investimento em pesquisa na área biomédica é grande, a expectativa de vida aumentou, as condições de saúde melhoraram bem como o custo no tratamento das doenças diminuiu. O número de oportunidades concretas que advém da pesquisa na área biomédica, considerada sob um ponto de vista amplo, é especialmente importante para o Brasil. A melhoria da condição de vida da população brasileira depende, em parte, do uso que se faça do conhecimento produzido nesta área do saber dentro do País.

A análise da pesquisa biomédica se faz num momento em que a contribuição científica brasileira ao conhecimento universal é crescente atingindo 1.4%, fração estimada a partir dos trabalhos indexados na base de dados do Institute for Scientific Information, ISI (Tabela 1). Análises recentes mostram que esse crescimento distribui-se proporcionalmente entre as áreas do conhecimento, acompanhando tendências globais (de Meis e Leta, 1996). O equilíbrio entre as áreas do conhecimento é importante desde que, como se analisará mais à frente, a pesquisa biomédica de hoje só é possível se outras áreas das ciências exatas atingirem graus de desenvolvimento comparáveis e a sua aplicação depende certamente de outras áreas do saber. A Tabela 1 apresenta o total de trabalhos brasileiros na base do ISI e a fração que representam na respectiva base. Deve-se notar um aumento significativo da produção científica brasileira, o que certamente ampliou a visibilidade da ciência realizada no País. Deve-se destacar que nos últimos cinco anos a percentagem de trabalhos brasileiros indexados no ISI com autores com residência fora do Brasil é aproximadamente 30%, uma relação que mostra tanto a inserção no mundo da ciência brasileira como a sua independência (Leta e Chaimovich, 2002). O conjunto de pesquisadores que produz esse conhecimento também é responsável pela formação de quadros qualificados nos programas de pós-graduação do País. Adicionalmente, esses mesmos pesquisadores são os únicos que podem traduzir os restantes 98,5% de conhecimento produzido no mundo, tanto para se manterem atualizados quanto para aplicarem em problemas locais.

Conscientes de que não existe uma relação linear e direta entre a produção do conhecimento e a sua aplicação, especialmente num país como o Brasil, devemos afirmar, também, que sem uma ativa e crescente investigação fundamental na área Biomédica não poderemos sequer utilizar responsabilmente o conhecimento produzido alhures. A relação entre conhecimento fundamental (ou básico) produzido localmente e o desenvolvimento da inovação local em todas as áreas de atividade econômica foi amplamente demonstrado (Narin F. et al, 1997).

**Tabela 1**  
Trabalhos brasileiros indexados no ISI #

Ano	Total trabalhos indexados	% do Brasil em relação ao mundo
1981	1889	0,44
1982	2185	0,50
1983	2207	0,49
1984	2271	0,51
1985	2313	0,48
1986	2480	0,50
1987	2525	0,51
1988	2770	0,54
1989	3074	0,57
1990	3555	0,64
1991	3907	0,69
1992	4636	0,76
1993	4490	0,75
1994	4833	0,76
1995	5508	0,83
1996	6057	0,90
1997	6749	1,00
1998	7915	1,13
1999	8948	1,25
2000	9511	1,33

# Total de trabalhos brasileiros representa os trabalhos na base do ISI com pelo menos um endereço no Brasil.

Podemos antecipar possíveis progressos importantes no futuro caso o financiamento público para a pesquisa fundamental for mantido e se, ao mesmo tempo, o setor produtivo, público e privado, incorporar tanto os recursos humanos qualificados como o conhecimento produzido localmente.

A pesquisa biomédica tem produzido uma mudança revolucionária na nossa compreensão dos fenômenos biológicos. Fenômenos que até pouco tempo formavam parte do grande mistério da vida são hoje compreensíveis e, quando necessário, modificáveis. Quando esse conhecimento é integrado a políticas de saúde coletiva observamos, como estão ocorrendo no nosso País, decréscimos importantes na mortalidade infantil e aumentos significativos na expectativa de vida. Ao mesmo tempo, é verdade que doenças emergentes e re-emergentes colocam desafios permanentes que, por sua vez, requerem maior atenção para fenômenos biológicos e sanitários que ainda escapam da nossa compreensão. O grande impacto da pesquisa biomédica se faz tanto nos fenômenos que escapam da nossa compreensão quanto na di-

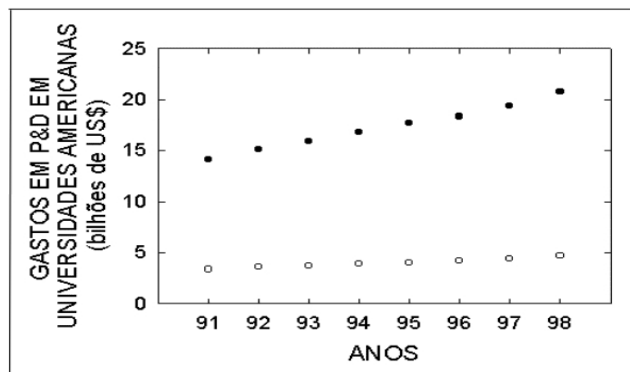
minuição de custo e conseqüente socialização de procedimentos de saúde que operam em problemas conhecidos.

Um exemplo ilustrativo da influência da pesquisa biomédica na saúde é o tratamento da AIDS. Novas terapias para o tratamento dessa doença resultaram da compreensão da estrutura tridimensional de proteínas e das metodologias de cálculo de forças de ligação entre pequenas moléculas e o sítio ativo de enzimas. Esses campos do conhecimento, estrutura de macromoléculas e cálculo de interações, eram descritos, até pouco tempo atrás, com palavras como “esotérico”, “não aplicável” e outras que representam falta de comunicabilidade entre parte da sociedade e parte da comunidade científica. Muito embora a AIDS continue sendo um problema grave de saúde pública, os inibidores de proteases, que surgiram a partir dos estudos desses dois campos, trouxeram uma nova esperança e melhoraram a qualidade de vida dos portadores do HIV. Não se trata aqui de multiplicar os exemplos, mas de mostrar o efeito dramático que o conhecimento gerado nas ciências biomédicas pode ter na saúde.

O papel do investimento público na pesquisa biomédica é mais crítico no Brasil que nos países desenvolvidos. Em todo o mundo, fundos públicos são aplicados majoritariamente em universidades e institutos de pesquisa quando se investe em ciência básica. Estas instituições fornecem o clima de abertura, isenção e transparência que acelera a formação de recursos humanos qualificados. Este clima também permite verificar, de forma isenta, os resultados da pesquisa vinda de todas as fontes, privadas e públicas, e forma a base da inovação e da invenção. Nos últimos 25 anos houve uma explosão de descobertas biomédicas, que em sua grande maioria não têm sido exploradas em terapias médicas ou diagnósticos. Essa constatação é universal e não se aplica exclusivamente ao Brasil. Recentemente, nos Estados Unidos (Pober JS et al, 2001) a defasagem entre ciência biomédica e a sua aplicabilidade foi atribuída a fatores como: a falta de financiamento específico, a falta de pessoal qualificado, a uma cultura acadêmica que dificulta a colaboração entre os pesquisadores clínicos e os básicos e as estruturas tradicionais nos centros universitários que favorecem as estruturas departamentais frente aos programas interdisciplinares. Essa coleção de obstáculos é bem conhecida entre nós. Na verdade, o problema transcultural é duplo. Por um lado, a cultura formativa nos grupos básicos mais competitivos nas ciências biomédicas tende a manter os melhores formados na área básica. Por outro, os grupos dos setores mais aplicados mantêm certa resistência, que não diminui rapidamente, à incorporação de jovens formados nos aspectos mais básicos deste campo.

## FINANCIAMENTO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

O financiamento de P&D varia imensamente de país para país. Análises comparativas de financiamento são dificultadas pela falta e pela diversidade de apresentação dessa informação. No Brasil, não é fácil para o conjunto dos cientistas (ou qualquer outro conjunto) compreender os dados referentes ao investimento em Ciência, Tecnologia e Inovação. Essa dificuldade tem impedido um acompanhamento que permita comparações internacionais precisas. Assim, as comunidades interessadas têm se limitado a analisar os investimentos de algumas agências federais, poucas fundações de amparo à pesquisa estaduais e alguns ministérios que fornecem dados de maneira sistemática. Já em outros países, o acesso e a disponibilidade de dados sistematizados é mais fácil. Segundo a National Science Foundation dos Estados Unidos ([www.nsf.gov](http://www.nsf.gov)), o gasto com P&D nas universidades americanas cresceu, de 1991 a 1998, 40,3 %, quando são consideradas as dez principais instituições americanas, e 46,5 %, quando são computadas as cem primeiras. Esses dados encontram-se apresentados na Figura 1.

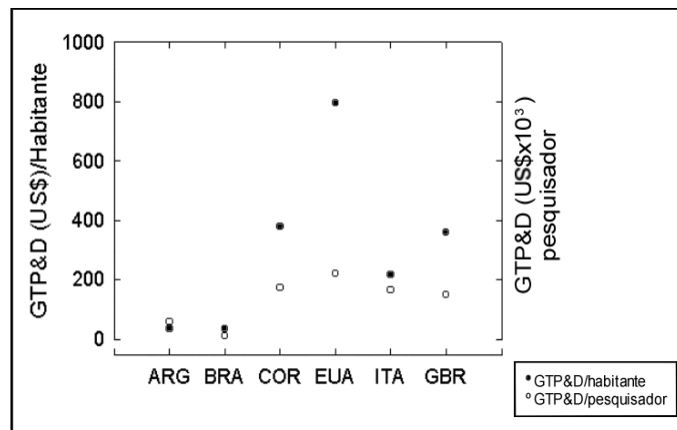


**Figura 1.** Gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em Universidades americanas. Os círculos vazios e cheios referem-se aos dados de financiamento das primeiras 10 e 100 instituições, respectivamente

A sistematização de dados desta natureza no Brasil está apenas começando ([www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br)) e dados parciais para América Latina podem ser consultados na Red de Indicadores de Ciência y Tecnología Iberoamericana/ Interamericana ([www.ricyt.edu.ar](http://www.ricyt.edu.ar)).

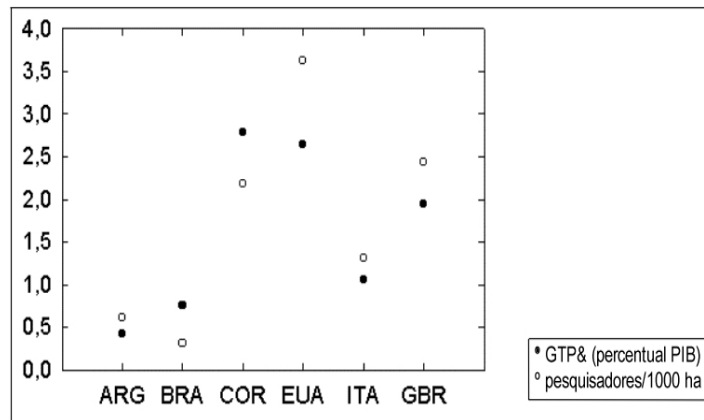
Assim, para a nossa análise foram coletadas as informações sobre a Coreia do Sul, os Estados Unidos e a Grã-Bretanha (que apresentam perfis semelhantes), a Itália (com características intermediárias) e a Argentina e o Brasil (como representantes de um grupo distinto em relação a investimento

em P&D). Uma das características que justifica o agrupamento é, por exemplo, o investimento em P&D oriundo do setor público. A contribuição relativa do setor público para o total investido em P&D para Coréia do Sul, Estados Unidos e Grã-Bretanha é de 26,8%, 25,8% e 35,1%, respectivamente. Já na Itália esse percentual equivale a 45,4%, enquanto na Argentina e no Brasil o setor público é o investidor majoritário (70,9% e 54,5%, respectivamente). Estes dados reforçam a noção de que nos países desenvolvidos o setor privado investe em P&D, em especial no desenvolvimento de produtos (Brito Cruz 2000). A Figura 2 mostra os gastos totais com pesquisa e desenvolvimento nesses seis países em relação aos números de habitantes e pesquisadores. O investimento de US\$ 797 por habitante nos Estados Unidos contrasta com os US\$ 34 investidos por brasileiro. Quando se consideram os investimentos por pesquisador, novamente os Estados Unidos lideram as estatísticas, com US\$ 174 mil por pesquisador, contra US\$ 11 mil no Brasil. Quanto aos investimentos totais com pesquisa e desenvolvimento, expressos como porcentagem do produto interno bruto, a Figura 3 mostra que a Coréia do Sul lidera com 2,79%, seguida de perto pelos Estados Unidos (2,64%) e depois pela Grã-Bretanha (1,94%) e Itália (1,05%). Brasil e Argentina investem 0,76% e 0,42%, respectivamente. Os Estados Unidos têm 3,63 pesquisadores por habitante, enquanto o Brasil apresenta um valor de 0,30.



**Figura 2.** Gastos totais com pesquisa e desenvolvimento (GTP&D) por habitante e por pesquisador em seis países: Argentina (ARG), Brasil (BRA), Coréia do Sul (COR), Estados Unidos (EUA), Itália (ITA) e Grã-Bretanha (GBR)  
(Fonte: National Science Foundation, ano fiscal de 1998)





**Figura 3.** Gastos totais com pesquisa e desenvolvimento (GTP&D) expressos como percentagem do produto interno bruto (PIB) e número de pesquisadores por mil habitantes em seis países: Argentina (ARG), Brasil (BRA), Coreia do Sul (COR), Estados Unidos (EUA), Itália (ITA) e Grã-Bretanha (GBR)  
(Fonte: National Science Foundation, ano fiscal de 1998)

Alguns indicadores mostram que no Brasil, tal como em outros países, a área biomédica ocupa uma percentagem significativa dos recursos investidos em P&D&I. É necessário notar, contudo, que uma comparação mais precisa, como descrito anteriormente, é difícil de ser apresentada. Uma dificuldade adicional está representada pela decisão de selecionar somente algumas áreas quando da descrição da produção científica da área biomédica. Assim, ao mostrarmos investimento ou produção científica as áreas consideradas serão definidas caso a caso.

A produção científica brasileira correlaciona-se adequadamente com o volume de estudantes de pós-graduação (ver a seguir). Assim, é interessante observar a posição da área biomédica quando se analisa o investimento em bolsas de pós-graduação. Em 2000, por exemplo, as despesas realizadas pela Capes em bolsas e auxílios para a pós-graduação foram cerca de R\$ 434,5 milhões. Desse total, 8,5% foram destinados à área de Ciências Biológicas, onde se encontram a grande maioria das subáreas das Ciências Biomédicas. Uma análise completa dos investimentos em pós-graduação, considerando todas as fontes de financiamento, públicas e privadas, está para ser feita.

## A PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL NA ÁREA BIOMÉDICA

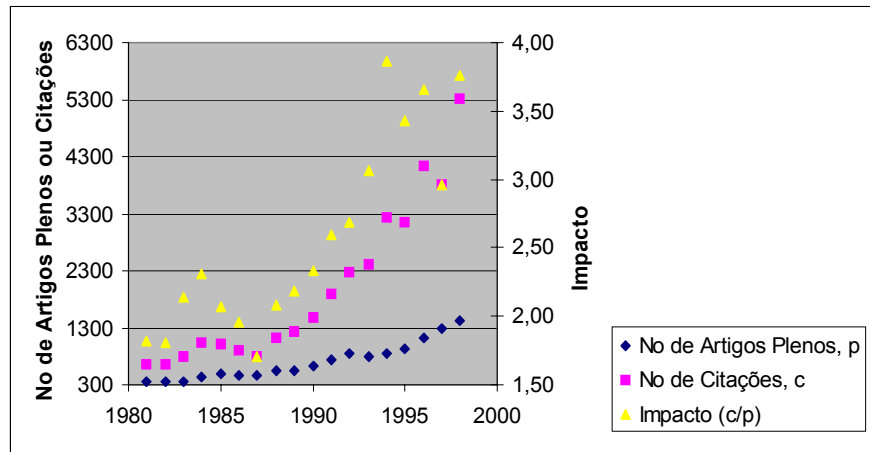
A produção científica nacional tem sido analisada usando dados do ISI. Essa base de dados, apesar da sua qualidade e facilidade operacional, cobre apenas uma pequena parte da produção científica brasileira em revis-

tas de política editorial rígida (Gibs, 1995; Vessuri, 1995). Assim, essa análise representa apenas uma parte da produção intelectual na área Biomédica.

A Figura 4 mostra a evolução da produção científica brasileira no ISI nos últimos 20 anos. Os dados se referem tão somente às publicações plenas (resumos, editoriais e cartas foram excluídos) com, pelo menos, um endereço no Brasil. Outra decisão metodológica nesse capítulo foi a de limitar o conjunto das sub-áreas das Ciências Biomédicas àquelas consideradas como pertencentes às ciências fundamentais ou básicas. Essa decisão, que pode parecer arbitrária, deve-se à necessidade de separar a área de saúde, que consta num outro capítulo. A separação dos trabalhos em subáreas é um tema delicado, visto que muito da pesquisa biomédica requer incursões intelectuais, metodológicas e disciplinares que não se prestam a uma classificação estreita. Por outro lado, a simples descrição integrada da área biomédica impede observações mais limitadas, às vezes necessárias para caracterizar e refletir sobre o futuro. Assim, optamos por apresentar a publicação indexada dividida em subáreas. A própria subdivisão é polêmica. Uma forma de dividir as subáreas é aceitar separações já existentes, como a oferecida pelo ISI. A classificação do ISI é baseada nas revistas que, segundo o ISI, melhor caracterizam cada subárea. A lista de revistas de cada subárea é material suplementar desse capítulo. Assim, optamos, apesar dos inconvenientes e estimulados pela facilidade que a base de dados oferece, por utilizar as subáreas do ISI. Foram escolhidas as seguintes subáreas do conjunto definido pelo ISI: Bioquímica e Biofísica (Bq&Bf); Biologia Celular e do Desenvolvimento (Biol Cel); Análise Química e Metodologia (Anal Quim); Endocrinologia, Nutrição e Metabolismo (Metabolis); Biologia Experimental (BiolExp); Imunologia (Imunol); Microbiologia (Microbiol); Biologia Molecular e Genética (BiolMolGe); Neurociências e Comportamento (Neuro); Farmacologia e Toxicologia (Farmaco) e Fisiologia.

A produção de artigos plenos nestas subáreas cresceu de 356, em 1981, para 1640, em 2000, um fator de 4,6 vezes. Já o número de citações passou de 646 para 5313 (1981-1998), um ganho de cerca de 8,2 vezes (Figura 4). O número de citações representa a soma das citações no ano de publicação e nos dois anos subseqüentes, análise de rotina em estudos cientométricos. Assim, as citações dos trabalhos publicados em 1999 e 2000 não foram computadas. Como já observado, existe uma correlação entre o volume de publicação e seu impacto quando se analisam países desenvolvidos (Katz, 1999). Essa correlação se aplica à literatura científica brasileira especialmente nos últimos anos, onde o crescimento do impacto da produção brasileira é significativamente superior à global (Leta e Chaimovich, 2002). A área biomédica acompanha claramente o aumento de volume e impacto da produção científica brasileira. O impacto da área Biomédica, medido pela razão entre cita-

ções e publicações passou de ca. 1.5 para 3.7 em apenas 18 anos. O crescimento do volume e do impacto da área biomédica parece acompanhar os indicadores brasileiros na produção científica.



**Figura 4.** Número de artigos plenos, suas citações e fator de impacto médio em função do tempo. Publicações brasileiras na área biomédica

O crescimento do volume e do impacto da produção científica brasileira em todas as áreas, ou particularmente nas ciências biomédicas, não é fácil de ser correlacionado com componentes únicos de política de Ciência e Tecnologia. Dentre as múltiplas variáveis o número de estudantes de pós-graduação é o que melhor se correlaciona com o aumento expressivo na capacidade nacional de produção de ciência (Leta e Chaimovich, no prelo).

A Tabela 2 apresenta os dados referentes ao total de publicações das subáreas consideradas nesse capítulo.

**Tabela 2**  
Publicações Plenas indexadas no ISI

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000
Bq & Bf	64	62	59	73	62	73	67	69	81	79	87	123	93	117	130	165	180	191	201	239
Biol Cel	15	12	19	18	18	20	11	18	18	20	15	27	21	23	46	45	52	65	57	54
Anal Quim	16	30	14	18	24	20	21	22	24	25	39	37	57	41	64	84	117	98	154	159
Metabolis	10	13	10	26	19	19	12	22	24	25	37	42	37	40	41	62	57	91	81	74
BiolExp	45	39	50	80	91	77	75	92	85	94	91	117	23	24	29	28	22	39	38	29
Imunol	14	20	24	21	30	35	23	30	25	29	56	49	75	81	77	100	98	113	138	124
Microbiol	36	36	47	51	50	46	68	69	80	82	102	98	136	131	133	161	206	240	261	268
BiolMolGe	78	79	67	81	82	72	73	96	80	114	114	116	134	119	144	177	166	184	193	183
Neuro	26	23	25	23	39	33	33	41	46	69	87	95	76	92	106	135	175	157	206	241
Farmac	39	31	36	39	50	53	48	56	66	71	77	103	100	126	128	147	179	198	235	223
Fisiologia	13	15	16	19	24	19	28	18	30	27	25	43	33	41	19	24	39	37	34	46
<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>360</b>	<b>367</b>	<b>449</b>	<b>489</b>	<b>467</b>	<b>459</b>	<b>533</b>	<b>559</b>	<b>635</b>	<b>730</b>	<b>850</b>	<b>785</b>	<b>835</b>	<b>917</b>	<b>1128</b>	<b>1291</b>	<b>1413</b>	<b>1598</b>	<b>1640</b>

Pode-se observar que, com exceção da subárea “Biologia Experimental”, todas as outras experimentaram um crescimento notável no período. O caso da “Biologia Experimental” pode ser explicado desde que uma revista, aparentemente muito usada nessa subárea, Revista do Instituto de Medicina Tropical da USP, deixou de ser indexada no ISI, justamente em 1993. Esse fato isolado mostra o cuidado necessário na interpretação de dados cientométricos.

Em todas as subáreas a variação das citações (Tabela 3) acompanha o das publicações, mostrando, mais uma vez, que o conhecimento produzido no País é utilizado pela comunidade global de biomedicina. Esses dados podem ser analisados com mais clareza quando se calcula o impacto da área, estimando a relação citação/publicação (Tabela 4).

**Tabela 3**  
Citações (em 3 anos) das publicações plenas

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Bioq Biofis	134	184	213	252	176	182	185	211	277	247	234	402	335	577	569	761	704	815
Biol Cel	24	33	25	32	19	38	9	50	27	76	42	102	65	54	197	76	138	228
Quim	30	41	36	38	64	27	36	51	52	84	82	109	193	163	225	262	291	322
Metabol	19	12	19	70	22	34	35	39	70	54	87	98	73	81	130	196	178	409
Biol Exp	61	63	51	58	59	75	57	49	76	86	73	45	35	61	90	74	41	94
Imuno	42	40	81	138	157	189	44	109	83	89	311	265	429	527	359	596	369	583
Microbiol	88	91	78	215	128	132	109	243	250	239	340	286	473	479	419	637	587	894
Biol Mol	82	71	88	47	76	38	65	74	81	171	166	269	177	491	345	663	396	660
Neuro	78	50	79	58	190	89	107	135	137	223	354	420	348	422	487	436	689	716
Farmac	58	38	87	82	75	73	92	115	139	157	178	195	241	238	315	380	369	523
Fisiol	30	29	29	48	48	38	43	33	31	54	25	95	40	131	13	41	54	69
<b>Total</b>	<b>646</b>	<b>652</b>	<b>786</b>	<b>1038</b>	<b>1014</b>	<b>915</b>	<b>782</b>	<b>1109</b>	<b>1223</b>	<b>1480</b>	<b>1892</b>	<b>2286</b>	<b>2409</b>	<b>3224</b>	<b>3149</b>	<b>4122</b>	<b>3816</b>	<b>5313</b>

**Tabela 4**  
Impacto das publicações brasileiras por subárea biomédica

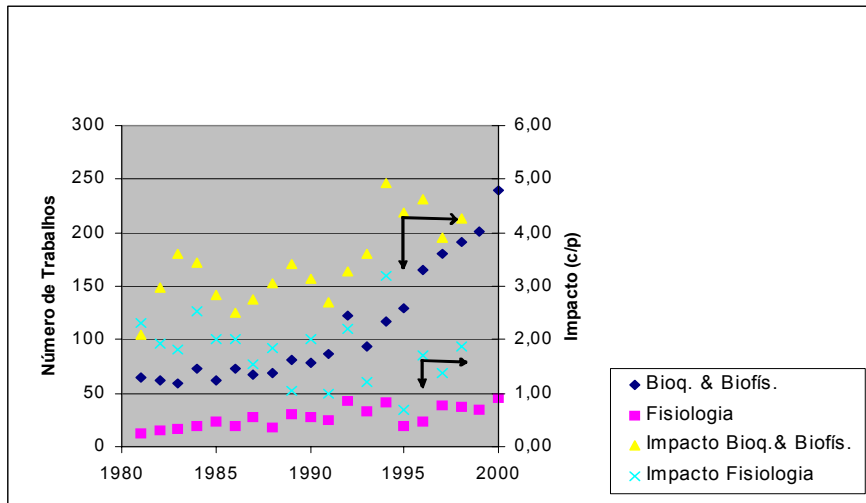
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Bioq Biofis	2,09	2,97	3,61	3,45	2,84	2,49	2,76	3,06	3,42	3,13	2,69	3,27	3,60	4,93	4,38	4,61	3,91	4,27
Biol Cel	1,60	2,75	1,32	1,78	1,06	1,90	0,82	2,78	1,50	3,80	2,80	3,78	3,10	2,35	4,28	1,69	2,65	3,51
Quim	1,88	1,37	2,57	2,11	2,67	1,35	1,71	2,32	2,17	3,36	2,10	2,95	3,39	3,98	3,52	3,12	2,49	3,29
Metabol	1,90	0,92	1,90	2,69	1,16	1,79	2,92	1,77	2,92	2,16	2,35	2,33	1,97	2,03	3,17	3,16	3,12	4,49
Biol Exp	1,36	1,62	1,02	0,73	0,65	0,97	0,76	0,53	0,89	0,91	0,80	0,38	1,52	2,54	3,10	2,64	1,86	2,41
Imuno	3,00	2,00	3,38	6,57	5,23	5,40	1,91	3,63	3,32	3,07	5,55	5,41	5,72	6,51	4,66	5,96	3,77	5,16
Microbiol	2,44	2,53	1,66	4,22	2,56	2,87	1,60	3,52	3,13	2,91	3,33	2,92	3,48	3,66	3,15	3,96	2,85	3,73
Biol Mol	1,05	0,90	1,31	0,58	0,93	0,53	0,89	0,77	1,01	1,50	1,46	2,32	1,32	4,13	2,40	3,75	2,39	3,59
Neuro	3,00	2,17	3,16	2,52	4,87	2,70	3,24	3,29	2,98	3,23	4,07	4,42	4,58	4,59	4,59	3,23	3,94	4,56
Farmac	1,49	1,23	2,42	2,10	1,50	1,38	1,92	2,05	2,11	2,21	2,31	1,89	2,41	1,89	2,46	2,59	2,06	2,64
Fisiol	2,31	1,93	1,81	2,53	2,00	2,00	1,54	1,83	1,03	2,00	1,00	2,21	1,21	3,20	0,68	1,71	1,38	1,86
<b>Total</b>	<b>1,74</b>	<b>1,73</b>	<b>1,97</b>	<b>2,10</b>	<b>1,98</b>	<b>1,80</b>	<b>1,54</b>	<b>1,93</b>	<b>1,94</b>	<b>2,12</b>	<b>2,33</b>	<b>2,42</b>	<b>2,82</b>	<b>3,49</b>	<b>3,04</b>	<b>3,28</b>	<b>2,63</b>	<b>3,23</b>

Em média, as publicações dobraram de impacto no período. É claro que algumas subáreas experimentaram uma variação de impacto relativo menor. Nesse sentido, é importante notar que esses indicadores são globais e não devem ser analisados em função de produção de qualquer pesquisador individualmente. Outro ponto a notar é que esse notável crescimento foi espontâneo, fruto de uma política que corretamente identificou a necessidade de crescimento harmônico entre as subáreas das ciências biomédicas. Algumas subáreas, contudo, não acompanharam o ritmo de mudança, outras quiçá se desenvolveram aquém das necessidades objetivas de conhecimento para o Brasil. Um exemplo disso é a pesquisa biomédica relacionada à malária, uma doença que atinge uma percentagem crescente, especialmente na região Amazônica, desenvolveu-se pouco quando comparada à outras doenças degenerativas (Rodrigues, P.S. et al, 2000).

## O FUTURO DA PESQUISA BIOMÉDICA

Ao longo dos tempos, a pesquisa na área Biomédica se concentrou em aspectos ligados aos sistemas biológicos, o que se reflete na estrutura departamental das universidades e na missão inicial de alguns institutos de pesquisa. Nos últimos cinquenta anos, todavia, passou a campos cada vez mais microscópicos, na tentativa de entender fenômenos complexos no nível molecular. A estrutura da grande maioria das universidades e dos institutos de pesquisa não acompanharam essa tendência. A manutenção de estruturas que não acompanham as mudanças do conhecimento pode ser um importante empecilho as formas novas de produção intelectual. Entre outros exemplos, poucos departamentos universitários, criados no Brasil na década de 70, podem acomodar a multidisciplinaridade que caracteriza a pesquisa biomédica de hoje.

Ao mesmo tempo, parte da formação holística foi esquecida; tornou-se aparentemente obsoleta. Um exemplo da redução do aspecto holístico da produção na área biomédica pode ser observado ao comparar a evolução da Bioquímica & Biofísica, tipicamente reducionistas, com a da Fisiologia, que mantém o seu caráter holístico. Na Figura 5 são apresentadas as variações temporais do número de trabalhos e do impacto (citações/número de trabalhos plenos) nessas duas áreas. A divergência entre as duas áreas é evidente. O volume da produção em Bioquímica/Biofísica cresce de forma exponencial e seu impacto acompanha o crescimento. Na Fisiologia, o volume cresce muito pouco no mesmo período e o impacto da produção tende a diminuir. Essa tendência, a ser mantida, pode ter um impacto negativo na aplicação da compreensão molecular aos fenômenos que requerem uma visão sistêmica de órgãos ou organismos.



**Figura 5:** Variação do número de trabalhos e do impacto em Bioquímica & Biofísica e em Fisiologia

Vencida a etapa do rascunho do seqüenciamento do genoma humano, será necessário terminá-lo e “anotá-lo”, isto é, caracterizar todos os seus genes e desvendar suas funções. O primeiro passo será a identificação de todas as regiões codificadoras de proteínas, o que dará uma boa indicação do número de genes funcionais. A anotação completa será uma tarefa muito complexa, exemplo disso é que ela ainda não foi conseguida nos dois cromossomos (21 e 22) que estão completamente seqüenciados. Uma rede de computadores poderosos espalhados pelo mundo poderá ser estabelecida, para que seja cumprida tal meta. A tarefa é ainda inimaginável. Como ponto de partida, consideremos: os 46 cromossomos humanos apresentam um número estimado de 30.000 genes, que geram 300.000 a alguns milhões de proteínas, possivelmente. Estima-se que o total de genes estará identificado em três anos, segundo o Projeto Proteoma Humano, uma seqüela do Projeto Genoma, ao custo aproximado de US\$ 500 milhões. Por outro lado, a compreensão plena dos mecanismos celulares e moleculares envolvidos na fisiologia e na patologia humana vai requerer estudos extensos em bioquímica estrutural e funcional de proteínas e, ainda muito mais, em sistemas celulares, teciduais e orgânicos complexos.

Assim, o anúncio de uma pré-seqüência do genoma humano em junho de 2000 coroou esforços de 50 anos de estudos. Considerando-se que o seqüenciamento completo do genoma não é um fim, mas um início, resulta a previsão de que a análise biológica do genoma exigirá esforços e trabalho com ordens de magnitude superiores aqueles empregados no seqüenciamento. Todavia, não se pode diminuir a importância de que se seqüenciem mais e mais genomas, quer animais, quer vegetais, tendo em vista as informações a

serem geradas pela genômica comparativa. A análise e a comparação de uma gama de genomas, desde bactérias a primatas, fornecerão ferramentas analíticas poderosas para a compreensão funcional da carga genética dos seres vivos.

Os próximos passos de vulto na genômica são a determinação das estruturas tridimensionais e funções de todas as proteínas e a complexa interação entre sistemas de expressão gênica. Embarcaremos em programas sistemáticos de cristalografia por raios-X, espectroscopia por ressonância magnética nuclear e outras metodologias ainda não aplicadas. A genômica estrutural identificará como proteínas, de estrutura conhecida, compartilham formas e seqüências de genes com proteínas de estruturas desconhecidas. Esse problema somente poderá ser resolvido com grandes números, depois que centenas de milhares de proteínas forem observadas e comparadas. No campo computacional, os estudos de modelagem estrutural representam uma poderosa ferramenta da bioinformática, que traz dados mecanísticos, importantes para a área biomédica.

Com o passar do tempo, seremos capazes de aprender como proteínas, RNAs e outras moléculas interagem para criar e manter as funções vitais dos seres vivos. O desvendar dos mecanismos de controle que regulam esses processos será a etapa mais difícil, devido ao número de informações necessárias para tal. Nesse ponto, o círculo se fechará com a integração de todas as abordagens científicas e metodológicas da biomedicina.

### **ALGUNS GARGALOS DA PESQUISA BIOMÉDICA**

O fechamento desse círculo constitui um dos maiores desafios da ciência no momento. Um dos gargalos da pesquisa biomédica foi apresentado em artigo recente da revista *Science*, assinado pelo presidente da Howard Hughes Medical Institute e colaboradores de outras importantes instituições médicas (Cech et al., 2001). As informações originadas da biologia molecular precisam ser traduzidas em tratamentos. Esse tipo de pesquisa, designada de pesquisa translacional e realizada pelo médico-cientista, precisa ser incentivada sob pena de não serem canalizadas para a aplicação as conquistas da genética moderna. O acúmulo vertiginoso desses novos conhecimentos está produzindo um hiato cada vez maior entre pesquisa básica e aplicação devido ao número insuficiente de pesquisadores que transitam entre as áreas básica e médica e que podem realizar a pesquisa translacional. Não só não tem aumentado o número desses pesquisadores, mas detecta-se, especialmente nos EUA, uma redução nesse número devido ao baixo incentivo à atividade de pesquisa e à competição com outras atividades da carreira médica.

Em seu documento de recomendações para financiamento nas áreas biomédicas e relacionadas nos EUA, a Federation of American Societies of Experimental Biology (Faseb) assinala a necessidade urgente de reverter esse quadro (Faseb, 2001). Soma-se a esse gargalo global uma evidente necessidade de fomento, especialmente no Brasil, para a pesquisa e para a formação de pessoal na área de biologia de sistemas que, como dito anteriormente, tem recebido atenção reduzida e será essencial em curto prazo. A biologia de sistemas ou integrativa, por estudar órgãos e organismos intactos, constitui o nível em que podem ser analisadas *in vivo* as manipulações genéticas e de terapias com novos medicamentos. O progresso terapêutico não pode ocorrer sem esse nível de análise. O apelo da biologia molecular esvaziou a biologia de sistemas nos últimos anos, reduzindo os quadros de cientistas competentes nesse nível de análise. Os quadros de cientistas, ainda remanescentes, que estudam propriedades de sistemas devem ser aproveitados com verbas e incentivos especiais para que promovam o treinamento de uma nova geração capaz de estudar o organismo como um todo.

## FERRAMENTAS TERAPÊUTICAS ORIGINADAS DA BIOMEDICINA

Em uma era em que as Ciências Biomédicas têm progredido com vertiginosa velocidade, vale lembrar que cerca de 60% dos medicamentos em uso fundamentam-se em compostos obtidos diretamente da natureza. Esse quadro, no entanto, poderá mudar em breve.

A anotação do genoma aponta para um novo processo de desenvolvimento de agentes farmacológicos. O binômio tentativa e erro, pelo qual os medicamentos foram descobertos ao longo dos milênios que nos antecederam, cede lugar, paulatinamente, ao desenho detalhado e específico dos compostos ativos. Cada vez mais, os cientistas são capazes de identificar as moléculas (ou o conjunto de) que nos tornam suscetíveis a uma determinada doença. Com essa informação eles podem construir novas moléculas direcionadas a alvos específicos, o que reduz os efeitos colaterais dessa nova geração de fármacos.

Uma das abordagens parte do banco de dados, público, do genoma. Inicialmente, uma determinada proteína-alvo é identificada pelo experimentador, por exemplo, a enzima conversora da angiotensina (ECA). No banco de dados do genoma buscam-se, por meio de informática, seqüências de DNA semelhantes à ECA. A seguir, a partir de bibliotecas genômicas e de DNA selecionam-se os clones correspondentes às seqüências encontradas no banco de dados. Cada um deles é hibridizado ao RNA obtido de diferentes células do organismo, no exemplo em tela, especialmente células



do pulmão, coração e rins, onde atua a ECA. A técnica de “microarray” permite identificar simultaneamente grande número de genes ativos nos tecidos. Essas seqüências escolhidas são submetidas a testes para comprovar se a proteína correspondente realmente converte a angiotensina. Os segmentos positivos são novamente testados contra compostos obtidos na biblioteca de inibidores da ECA. Se houver a inibição da conversão, o composto é candidato a testes em animais e, subseqüentemente, a testes clínicos.

Outra abordagem se faz através de anticorpos monoclonais, pequenas proteínas que são cópias de um único anticorpo e que se ligam a um antígeno específico, por exemplo, uma bactéria, vírus ou célula tumoral. A partir daí, disparam uma cascata de eventos no sistema imune, destruindo ou neutralizando o alvo. Outros anticorpos carregam isótopos radioativos ou toxinas, capazes de eliminar as células às quais se ligam. A partir de 1993 os anticorpos monoclonais começaram a ser gerados em células de camundongos, cujos próprios genes produtores de anticorpos foram inibidos e que receberam genes de anticorpos humanos transplantados. Assim, as células desses camundongos tornam-se aptas a gerar um suprimento ilimitado de anticorpos humanos altamente específicos e de ampla aplicação terapêutica.

Outra ferramenta terapêutica importante poderá ser a terapia gênica, que procura tratar ou prevenir uma doença através da introdução de um gene terapêutico em células-alvo, produzindo uma proteína que dispara uma resposta farmacologicamente ativa. Esse transgene é inserido no alvo por meio de uma gama de vetores, tais como vetores retrovirais, adenovirais e plasmídios. Os vetores virais possuem alta eficiência de transfecção, porém apresentam problemas complexos de toxicidade, patogenicidade e indução de resposta imune hiperaguda. Progressos recentes na modificação das propriedades dos plasmídios, associando-os ou encapsulando-os com polímeros que prolongam a sua vida útil, ou associando-os com ligantes que promovem sua internalização celular mediada por receptores específicos, estão melhorando as perspectivas de uso desses vetores e, portanto, dessa ferramenta.

Contrastando com a produção de fármacos, antibióticos ou vacinas, a medicina regenerativa é individual, dirigida especificamente a cada um dos casos atendidos, no seu contexto particular. Trata-se, portanto, de uma medicina individualizada, cuja ação pode envolver duas etapas, independentes ou associadas: 1) a manipulação *ex vivo* de células do próprio paciente, sua expansão, diferenciação e integração potencial em estruturas ordenadas superiores, que serão reintroduzidas nas regiões lesadas e integradas no processo de regeneração (bioengenharia ou engenharia tecidual); e, 2) a introdução, nas regiões lesadas, de estruturas supramoleculares, semelhantes aos elementos de matriz extracelular e mediadores intracelulares associados, facilitando a mobilização, expansão e integração de populações de células

regenerativas internas, fomentando o reparo de lesões ou de degenerações, e renovação de tecidos degenerados (biomimética).

Algoritmos obtidos da bioinformática também podem auxiliar a construção de moléculas farmacologicamente ativas. A meta é a predição da função de proteínas codificadas por genes recém-identificados. Essas proteínas podem ser comparadas com outras de estrutura conhecida, na tentativa de sugerir suas funções bioquímicas e até como desativá-las. Considerando-se que uma proteína ativa pode ter sua estrutura modificada, a compreensão desse fenômeno pode ser crucial para o desenho de moléculas ativas. Entra em cena, assim, a simulação computacional, capaz de sugerir como a estrutura de uma proteína se altera quando ativada, bem como identificar pequenas moléculas capazes de desarmar esses alvos.

## **BIOINFORMÁTICA**

Parte das Ciências Biomédicas atravessa uma mudança de paradigma similar àquela ocorrida na Física, quando experimentos em pequenos laboratórios foram substituídos pelo compartilhamento de instalações de grande porte como os aceleradores de partículas. Muitas disciplinas, como a Biomedicina, foram caracterizadas no passado por experimentos conduzidos por um pesquisador ou uma pequena equipe. Cada vez mais, entretanto, parte da comunidade está se interligando digitalmente, compartilhando dados e recorrendo a bancos de dados abrangentes. A manipulação de grandes bancos de dados se torna, paulatinamente, parte integrante da pesquisa e da descoberta científicas.

Nesse contexto, os cientistas biomédicos estão se familiarizando com o impacto de catalogar, entre outros dados, os três bilhões de pares de bases constituintes do genoma humano. A esses números somam-se progressivamente aqueles provenientes de genomas de outros organismos. Muitos achados científicos futuros originar-se-ão de estudos comparativos de genomas. Uma das revoluções em Biomedicina é a passagem de uma ciência que identificou os componentes básicos de células, organismos e populações para uma ciência que busca a compreensão fisiológica desses sistemas complexos.

Novos níveis de informação cromossômica poderão vir a ser descobertos. Por exemplo, os tipos de informação contidos no DNA e no RNA, os sinais que regulam a amplitude espacial e temporal da expressão gênica, as famílias de seqüências repetidas que, acredita-se, auxiliam nas alterações cromossômicas evolutivas, e as características cromossômicas epigenéticas que conservam a fidelidade da regulação da informação.

Um outro desafio informático é a conversão da informação linear da seqüência de genes em estruturas tridimensionais das proteínas. Outras di-

mensões deverão ser incorporadas ainda, por exemplo, a cinética do comportamento das vias de informação intracelulares. Imagine conhecer a transformação da codificação digital dos genes nas  $10^{12}$  células do sistema nervoso central com suas  $10^{15}$  interconexões, tudo modulado por sinais ambientais! Naturalmente, será necessária a modelagem computacional para descrever a estrutura e a dinâmica de proteínas em tal sistema, bem como as interações mútuas entre elas.

Nesta nova era, os cientistas necessitarão de uma estrutura teórica rigorosa e de ferramentas quantitativas poderosas. A compreensão da interação não-linear entre centenas de genes para produzir um câncer é apenas um exemplo. Técnicas avançadas de organização de dados bem como novas ferramentas teóricas de análise de bancos de dados multidimensionais serão cada vez mais necessárias para desembaraçar as complexas interações dos sistemas biológicos. A organização e integração de terabites –  $10^{12}$  bites – de dados biológicos são um desafio teórico de grande magnitude nas ciências computacionais e na matemática de sistemas complexos.

A Biomedicina deverá integrar os vários níveis de informação biológica e transformar os dados em modelos que descrevam as mais variadas propriedades desses sistemas. É possível que o planejamento experimental do futuro venha a depender da forma em que a informação existente seja analisada. Isto é, as perguntas podem vir a depender das ferramentas computacionais prévias. Todos os elementos no sistema deverão ser definidos e caracterizados. Esses devem vir a ser os passos básicos para a organização de uma estruturação teórica em biomedicina.

## **PERSPECTIVAS PARA A PESQUISA NA ÁREA BIOMÉDICA NO BRASIL**

Quando a Fapesp lançou o projeto para seqüenciar o genoma de uma bactéria que compromete laranjeiras, o principal objetivo era treinar os cientistas paulistas nas técnicas da genômica e instalar no estado de São Paulo uma capacidade de gerenciar projetos em rede. Usando este modelo, a seqüência de DNA da *Xylella fastidiosa* foi publicada (Simpson A e col. Nature 406, 151-157, 2000). A concepção de rede gerenciada, com nós distribuídos e financiamento compatível ao problema, está hoje sendo aplicado em programas de agências de fomento do governo federal.

Muitos cientistas, entretanto, alertam para o fato de que para manter o passo há que ser reformulado o plano de carreira dos docentes das instituições de ensino superior, bem como o dos pesquisadores dos institutos de pesquisa ligados ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), provendo salários e condições de trabalho condigno. Considerando a velocidade de

progresso na genômica, será um enorme desafio manter a atual posição de destaque do País nesse campo.

Alguns governos estaduais, como o do Rio de Janeiro, também deram partida a projetos de seqüenciamento de genomas. Trata-se de iniciativa meritória, que se deve somar aos esforços federais nos demais estados da nação.

O seqüenciamento da *Xylella* foi realizado por um consórcio, a um custo aproximado de US\$ 13 milhões. Os líderes do projeto buscaram seu nicho na genômica, escolhendo um organismo de importância econômica local e utilizaram um modelo colaborativo, interligando diversos laboratórios de tamanhos variados. A idéia de um consórcio não é nova e torna-se cada vez mais utilizada em ciência.

No Brasil, a produção do conhecimento fundamental em pesquisa biomédica ocorre, em grande parte, nas instituições acadêmicas. O País possui centros de excelência em bioquímica, farmacologia, imunologia, biofísica e biologia celular, mas poderiam ser em maior número. A competência científica nessas áreas já está instalada e os recursos humanos do mais alto nível encontram-se disponíveis. Todas as análises de capacidade e produtividade científicas nacionais apontam essas áreas como de excelência, seja em termos de geração de novos dados científicos, ou em termos de capacidade de formação de recursos humanos pós-graduados, disputados no exterior. As demais áreas da pesquisa biomédica certamente contam com pesquisadores da mais alta qualificação, porém não forma uma grande equipe sequer no âmbito nacional. Algumas dessas áreas já recebem incentivos especiais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A inovação, os produtos e os serviços desenvolvidos a partir do conhecimento gerado pelas Ciências Biomédicas envolvem, além de pesquisas acadêmicas, outros atores. Embora existam no Brasil centros acadêmicos de excelência em engenharia de processos, a interação com as Ciências Biomédicas não está cristalizada sequer no ambiente acadêmico. Por consequência, deverão ser implantados mecanismos para fomentar tal interação.

O problema da transferência de conhecimento para a empresa já foi largamente debatido. A magnitude do investimento privado em P&D, que permite incorporação de conhecimento na inovação, serviços e produtos também é de conhecimento geral. O problema das multinacionais e da falta de investimento em P&D por parte da empresa nacional forma parte do noticiário. Contudo, podemos afirmar que devemos procurar implantar um modelo original, centrado nas estruturas já existentes no País, ou a serem criadas, com nossos recursos humanos, represados por falta de admissão aos quadros de servidores universitários ou de instituições de pesquisa. Não podemos nos dar ao luxo de perder, para instituições estrangeiras, cérebros muito bem preparados com fundos públicos.

Vários tipos de financiamento são necessários para acompanhar o aumento do conhecimento global e contribuir com conhecimento e pessoal capacitado para a inovação. O tamanho e a qualidade do sistema científico na área Biomédica já permite, no Brasil, julgamento de qualidade na formulação de políticas de desenvolvimento e fomento. As experiências nacional e internacional mostram que um equilíbrio entre programas (com prioridades definidas) e balcão (financiamento que atende a curiosidade do pesquisador) é essencial para manter o círculo virtuoso da criação. Um desequilíbrio conduz seja à falta de política, quando se privilegia somente o balcão, ou à desestruturação do sistema, quando só existem programas.

Em conclusão, apesar das irregularidades de ritmo e de freqüência no apoio à pesquisa e desenvolvimento no País, sem falar na difícil manutenção dos quadros existentes em decorrência dos baixos salários e nem na total ausência de expansão dos mesmos pela contratação dos nossos pós-graduados de qualidade, os esforços do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), do Ministério de Ciência e Tecnologia, de algumas fundações de amparo a pesquisas estaduais e de poucas fundações de direito privado produziram resultados apenas satisfatórios. O Brasil possui uma capacidade de pesquisa instalada e um acervo de recursos humanos consideráveis, quase que totalmente localizados em instituições públicas federais ou estaduais. Ele pode ser melhorado para dar seguimento ao já conseguido na área Biomédica brasileira à medida que:

- o setor público continue coordenando e implementando a capacidade de desenvolvimento científico do País;
- o setor público ofereça mais oportunidades de fixação de pessoal amplamente qualificado, criando novas vagas ou novos e necessários centros de pesquisa e desenvolvimento no País;
- o setor público estabeleça claramente os mecanismos eficientes para a transferência e fluxo de investimentos privados para as instituições públicas com a capacidade de desenvolvimento e de recursos humanos já instaladas;
- o setor público estabeleça claramente os mecanismos eficientes para o retorno de benefícios, divididos, de maneira justa, entre o setor produtivo e o setor de pesquisa e desenvolvimento público;
- o setor público use seu poder de compra para gerar empresas onde a inovação seja mandatória ou para permitir que a pequena, média e grande empresa, pública ou privada, se beneficie do investimento próprio em P&D local.

Necessitamos de uma nova geração de cientistas biomédicos e de um compromisso governamental contínuo e em sintonia com a pesquisa científica para nos tornarmos soberanos; e não podemos nos dar ao luxo de perder a oportunidade que atualmente nos é oferecida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brito Cruz, CH Revista Humanidades 45, 15-29, 2000
- FASEB Office of Public Affairs. The Benefits of Biomedical Research. *Physiologist* (1999) 42: 389-395,
- Cech TR., Egan LW., Doyle C, Gallin E, Lichtman MA., Queenan III CJ., and Sung N The Biomedical Research Bottleneck. *Science* (2001) July 27; 293: 573 (in Editorial)
- Cockburn I, Henderson R, Orsenigo L, Pisano GP. *Pharmaceuticals and biotechnology*. Pp. 363-398 in Mowery DC (ed.), US Industry in 2000: Studies in Competitive Performance. Washington, DC: National Academy Press, 1999. <http://books.nap.edu/books/0309061792/html/363.html#363>
- De Meis, L. e Leta, J. O perfil da ciência brasileira. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1996.
- Gibbs W. The lost science in the third world. *Scientific American* (1995) 273: 76 – 83.
- Holmer AF. Holmer. New Drug Approvals in 1998. Washington, DC: PhRMA. 1999. <http://www.phrma.org>
- Horta MH e de Souza CF, IPEA, *Texto para Discussão No 736, Rio de Janeiro, Junho 2000*
- Hoyert DL, Kochanek KD, Murphy SL. Deaths: Final data for 1997. *National Statistics Reports* 47 (June 30). 1999. <http://www.cdc.gov/nchswww/releases/99facts/99sheets.htm>
- J.S. Katz, Scale-independent indicators and research evaluation. *Science and Public Policy* (2000) 27: 1–23.
- Leta J. and Chaimovich H. Produção científica brasileira nas Ciências da Vida: a contribuição relativa da Universidade de São Paulo nos periódicos de maior impacto e de maior número de artigos. (Aceito para publicação na revista Parcerias Estratégicas, MCT)
- Leta J. and Chaimovich H. Recognition and international collaboration: the Brazilian case. *Scientometrics* (2002) 53: 325 – 335.
- Lichtenberg FR. Do (more and better) drugs keep people out of hospitals? *American Economic Review* (1996) 86: 384-388.
- Narin F, Hamilton KS, Olivastro D. The increasing linkage between US technology and public science. *Research Policy* (1997) 26: 317-330.
- National Institutes of Health. Cost Savings Resulting from NIH Research Support, second edition. NIH Publication no. 93-3109. 1993, revised 1996. Bethesda, MD: NIH.
- Pardes H, Manton KG, Lander ES, Tolley HD, Ulian AD, Palmer H. Effects of medical research on health care and the economy. *Science* (1999) 283: 36-37. <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/283/5398/36>
- Pharmaceutical Research and Manufacturers' Association. Drug companies to invest \$20 billion on R&D as they continue to work on 1,000 new medicines. *Facts and Figures*. Washington, DC: PhRMA, March 1998. [http://www.phrma.org/facts/phfacts/3\\_98a.html](http://www.phrma.org/facts/phfacts/3_98a.html)
- Pober JS, Neuhauser CS, Pober JM. Obstacles facing translational research in academic medical centers. *FASEBJ* (2001) 15:2303-2313.
- Rodrigues, P.S., Fonseca, L. e Chaimovich, H. Mapping cancer, cardiovascular and malaria research in Brazil. *Braz J Med Biol Res* (2000) 33: 853 – 867.
- Simpson AGJ, Reinach FC, Arruda P, et al. The genome sequence of the plant pathogen *Xylella fastidiosa*. *Nature* (2000) 406: 151-157.
- Toole AA. The impact of federally funded basic research on industrial innovation: Evidence from the pharmaceutical industry. Madison, WI: Lauritis R. Christensen Associates, 1997.
- Vessuri H. Recent strategies for adding value to scientific journals in Latin America. *Scientometrics* (1995) 34: 139 – 161.
- Winsconsin Association for Biomedical Research and Education. Bioscience Research,

Development & Industry: Impact on Health & Economic Growth in Wisconsin. Milwaukee, WI. 1996. <http://www.wabre.org/>

### **Os Autores**

WALTER ARAÚJO ZIN (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor pelo Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho e professor na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

HERNAN CHAIMOVICH. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Bioquímica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor no Instituto de Química da mesma Universidade.

DORA FIX VENTURA. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutora em Psicologia Experimental pela Universidade de Columbia (EUA) e professora de Psicologia Experimental na Universidade de São Paulo (USP).

JACQUILINE LETA. É doutora em Química Biológica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e pesquisadora associada na Pró-Reitoria de Pesquisa na Universidade de São Paulo (USP).





# Área de Ciências da Engenharia

JOSÉ AUGUSTO P. ARANHA

HANS INGO WEBER

HÉLIO WALDMAN

LUIZ FERNANDO SOARES

## **ESTADO DA ÁREA NO MUNDO E NO BRASIL**

A área tecnológica parece enfrentar, no contexto mundial, uma situação paradoxal: se de um lado o grande *boom* econômico da década de 90, observado essencialmente nos países centrais da economia mundial, está associado, assim dizem os analistas, aos ganhos de produtividade relacionados com o desenvolvimento tecnológico, de outro lado, o que se observa nesses países é um distanciamento da juventude da atividade tecnológica. É significativa, nesse contexto, a observação que nas faculdades americanas de prestígio em áreas da Engenharia o maior contingente de alunos nos programas de pós-graduação seja estrangeiro, principalmente oriundo dos países periféricos do ponto-de-vista econômico. Nos países centrais, a maior parcela da juventude mais bem preparada busca preferencialmente as áreas gerencial e de negócios ao invés da área tecnológica, uma tendência que embora sempre observada em qualquer época talvez tenha sido hipertrofiada nos últimos tempos por algumas especificidades colocadas a seguir.

De um lado, a formação tecnológica é de lenta maturação, é um conhecimento verticalizado, enraizado, que se adapta por isso com mais dificuldade à volatilidade das condições do mercado, como a observada nos últimos tempos; a horizontalidade da área gerencial é mais propícia à mobilidade, se conforma melhor à ligeireza do mercado e estabelece, por isso, um pacto mais atraente com a juventude, que busca nela uma estabilidade na mudança. De outro lado, os salários das atividades tecnológicas são, no mais das vezes, inferiores aos da área gerencial, e ao pacto da estabilidade se sobrepõe o ganho imediato, tornando a opção tecnológica uma aventura não só arriscada como de baixo prêmio no valor aceito hoje pela sociedade. Essas questões têm relevância, não só porque se reduplicam no caso específico do Brasil, como veremos mais adiante, mas porque também explicam uma

série de medidas que têm sido tomadas pelas principais escolas de Engenharia no sentido de tornar seus cursos mais atraentes para a juventude: o movimento hoje proposto parece ser o de se desfocalizar, no nível de graduação, dos temas dominantes na Engenharia clássica, fornecendo uma visão mais generalista, menos comprometida com problemas específicos, mas sem abdicar de uma sólida formação básica.

No entanto, na pós-graduação, que é onde a pesquisa ocorre, nenhuma mudança de rumo apreciável foi observada, apesar da maior volatilidade do mercado: a interação com a indústria continua importante, menos pelo aporte direto de recursos<sup>1</sup>, mais pela sugestão de problemas e principalmente pela absorção dos alunos formados. Grande parte da atividade de pesquisa nos Estados Unidos é realizada no interior das indústrias e é também lá que localiza-se mais de 80% dos doutores do país e onde a esmagadora maioria das patentes são geradas. Mesmo a produção de artigos científicos em periódicos pela indústria não é desprezível, chegando até em algumas áreas, como em Eletricidade e Computação, a dividir essa produção com as Universidades.

Finalizando esse breve intróito sobre algumas peculiaridades da pesquisa tecnológica hoje desenvolvida no contexto mundial, é importante que alguns indicadores sobre a produção científica da área sejam aqui colocados para que, posteriormente, possam ser cotejados com os dados referentes à produção brasileira. Em particular, um dado comparativo importante é aquele associado à qualidade da produção científica, em geral mensurada pelo fator de impacto, que relaciona o número de citações de um determinado autor (ou veículo) pelo número total de trabalhos publicados pelo autor (ou veículo). Esse fator varia de área para área do conhecimento, no entanto, e para estimá-lo no campo da Engenharia, o seguinte procedimento foi aqui utilizado: como 83% da produção científica da área vem dos “países centrais” (EUA, Europa e Ásia industrializada), é razoável supor-se que o fator de impacto médio das principais revistas de Engenharia seja uma estimativa desse indicador para esses países. A Tabela 1 mostra o fator de impacto de algumas revistas de engenharia importantes, indicando um valor médio da ordem de 1.10, um coeficiente que deve, segundo o argumento acima exposto, ser um valor de referência da qualidade da produção científica nas engenharias.

---

<sup>1</sup> Mesmo no Massachusetts Institute of Technology (MIT), que é o líder nos USA na captação de recursos junto a indústria, menos de 20% de seu orçamento é devido a essa atividade; a maior parte de recursos de pesquisa vem de fontes governamentais.

**Tabela 1**

Fator de Impacto de alguns Periódicos importantes de Engenharia

<b>Periódicos</b>	<b>Impacto</b>
J.Fluid Mech.	1.609
IEEE *	1.350
I.J.Nume.Meth.Eng.	1.114
I.J.Heat and Mass	0.690
J.Sound and Vibration	0.681
J.Structur.Eng.(ASCE)	0.440
J.Hydraul.Eng.(ASCE)	0.319
MÉDIA(POND.)	1.11

\* Das 88 revistas do IEEE selecionou-se as 26 com fator de impacto maior que 1 e tirou-se a média dessas 26.

A área de Engenharia no Brasil compartilha algumas características observadas nos países centrais e se diferencia em outras tantas, o fator complicador sendo que se identifica mais nos problemas, afastando-se do setor mais desenvolvido à medida que ele começa a apresentar suas melhores qualidades. A atividade de pesquisa em engenharia se concentra no sudeste<sup>2</sup>, principalmente em São Paulo e Rio de Janeiro, e como essas regiões cada vez mais se identificam como sendo “regiões de negócios” observa-se aqui o mesmo fenômeno observado nos países centrais: existe uma dificuldade grande para atrair para a pós-graduação os alunos de graduação em engenharia do eixo São Paulo-Rio de Janeiro. Eles são aí também atraídos pelas áreas de gerenciamento e negócios e a pós-graduação, principalmente o doutorado, é municiada em grande parte por alunos de outras partes do País e até mesmo, em tempos mais recentes, de outros países da América Latina. Esta característica pode ser utilizada positivamente, como discutido na seção final deste documento, por meio de uma política consistente de descentralizar o desenvolvimento tecnológico, não de forma aberta e desestruturada, mas sim de maneira focada e nucleada.

O que nos diferencia em relação aos “países centrais” tem origens históricas que valem aqui ser recordadas. Em primeiro lugar, a pesquisa tecnológica nas Universidades brasileiras é recente, tem cerca de 30 anos, e quando instalada no País encontrou um corpo docente com um perfil bem definido e, em larga medida, com uma postura culturalmente antagônica à

<sup>2</sup> Esta região é responsável por 83% das bolsas de pesquisa do CNPq na área de Engenharia.

condizente com a atividade de pesquisa: os professores das faculdades de Engenharia eram, geralmente, engenheiros bem sucedidos, que mal ou bem projetaram a infra-estrutura deste País e deram suporte às indústrias que aqui se instalaram principalmente a partir da década de 50. A maior parte desses profissionais eram da Engenharia Civil e a atividade tecnológica mais proeminente, mais sofisticada, estava associada à consultoria. Ocorre que o perfil do consultor é, grosso modo, oposto ao do pesquisador, porque enquanto um se debruça sobre os problemas atuais, demandados pela indústria, o outro se projeta no que está por vir. Se não se compreender essa dimensão cultural, reforçada pelo justo argumento que se estava resolvendo os problemas tecnológicos mais prementes do País, talvez nunca se compreenda porque as escolas de Engenharia resistiram tanto tempo em incorporar o novo modo de operação proposto ao sistema universitário brasileiro, principalmente as escolas mais tradicionais onde essa cultura estava, certamente, mais arraigada.

A Tabela 2 exemplifica esse ponto de forma cabal: a América Latina é responsável por 2.1% da produção científica mundial e seu pior desempenho é justamente na área das Engenharias, onde a produção científica é somente 1.2% da mundial; reforça o argumento acima colocado a observação que o segundo pior desempenho da América Latina ocorre em outra atividade profissionalizante, a Medicina. No que toca as Engenharias, há que se observar que a produção científica oriunda das indústrias nos “países centrais” chega, em algumas áreas específicas, a ombrear-se com a produção nas universidades, ao passo que na América Latina, e no Brasil em particular, a produção científica oriunda das indústrias é virtualmente inexistente.

**Tabela2**

Percentual da produção científica em diferentes áreas do conhecimento

ÁREAS	Biologia	Medicina	Biol.Apl.	Química	Física	Matemát.	Ter./Esp	ENG.
Centro*	90.6%	90.0%	81.3%	78.9%	76.4%	79.5%	83.7%	82.9%
A.Latina	1.7%	1.4%	3.3%	1.8%	2.7%	2.0%	2.4%	1.2%
Outros	7.7%	8.6%	15.4%	19.3%	20.9%	18.5%	13.9%	15.9%

Fonte: "The state of world science", R.Barré & P.Papon, Nature Yearbook of Science and Tech.-2000.

\* USA, Europa e Ásia Industrializada.

Um outro indicador, no entanto, parece sugerir que as distorções observadas na Tabela 2 talvez possam ser corrigidas com o tempo. A Tabela 3

apresenta, nos anos 1981 e 2000, o número total de publicações em revistas em diferentes áreas do conhecimento: a maior taxa de crescimento foi em Engenharia (8.52) e a segunda maior em Medicina (7.60). Pode-se argumentar, e com alguma propriedade, que essas altas taxas são também devidas a uma base inicial onde a produção científica era muito pequena; a análise mais detalhada dos dados, no entanto, mostra que o número de publicações tem de fato crescido ano a ano durante toda a década de 90, indicando que o acréscimo observado é de fato consistente.

**Tabela 3**

Número total de publicações em revistas (áreas da Academia)

ABC	QUI	AGR	BIOL	BIOM	FIS	HUM	MAT	TERR	MED	ENG
1981	167	192	281	1115	383	129	53	60	332	140
2000	1090	510	994	4347	1765	348	177	333	2525	1193
Taxa	6.50	2.66	3.54	3.90	4.61	2.70	3.34	5.55	7.60	8.52

Fonte:ABC.

Considerando o fator de impacto como um indicador confiável da qualidade da produção científica, a Tabela 4 mostra que a qualidade da produção brasileira na área de Engenharia é boa, comparável à da mesma área nos países tecnologicamente mais avançados. Esta afirmação, no entanto, tem que ser olhada com cautela, principalmente porque baseada em uma informação indireta sobre o fator de impacto dos “países centrais”.

**Tabela4**

Fator de Impacto (FI) na área de Engenharia

	(FI)-Brasil	(FI)-Centro*
1981	1.14	(-)
1997	1.14	1.10
2000	1.21	(-)

Fonte: ABC.

\*USA, Europa e Ásia Industrializada. Fator de impacto 1.10 estimado como indicado na Tabela (1).

Muito se tem dito, e muito se tem feito, sobre a questão da interação universidade-indústria, e antes que nos delonguemos sobre as vantagens de tal intercâmbio é importante aqui que se coloque alguns pontos, que, embora críticos, talvez auxiliem na orientação de uma política mais adequada aos propósitos do País. Em primeiro lugar, é relevante observar que cerca de 75% do capital investido pelas indústrias nas universidades vem de uma única fonte, a Petrobras, uma empresa estatal: esse número indica uma fragilidade nesse intercâmbio, não tanto por culpa das universidades, que têm se aberto cada vez mais ao setor produtivo, às vezes até demais, mas sim por um aparente desinteresse das indústrias.

Um segundo ponto que merece reflexão é o seguinte: o que se observa hoje, inclusive pela relutância da indústria em enfrentar de fato a questão da inovação tecnológica, é que esse intercâmbio tem-se caracterizado, em geral, por um *modus operandi* particular, onde a universidade é requisitada mais como uma prestadora de serviços, colocando à disposição das indústrias um exército de reserva habilitado nos problemas que as afetam. Embora esse *modus operandi* possa ser importante como um ritual de aproximação ele, de *per si*, é incapaz de promover uma inovação tecnológica genuína e não se diferencia muito do antigo modo de atuação baseado nas consultorias. Uma conseqüência dessa forma de operação é que já se observa, no interior das universidades, uma certa ortogonalidade entre captação de recursos e produção científica, com um possível duplo impacto na questão da inovação tecnológica: de um lado, voltando a transferir poder para a atividade universitária mais refratária às inovações, aquela que trata somente dos problemas no varejo do mercado; de outro lado, descolando a produção científica de problemas genuínos, um movimento que pode vir a circunscrevê-la em um gueto, desenvolvendo um dialeto próprio incompreensível para a língua viva da sociedade.

Isso posto, e afastados os perigos latentes que sempre rondam qualquer intercâmbio, a relação com a indústria é fundamental para a área tecnológica das universidades, pois é lá que existe a motivação para seus estudos e é para lá que se dirigem os alunos nelas formados. O grande gargalo da questão tecnológica no País não reside tanto na capacitação de seu meio universitário, mas sim no setor produtivo, no fato que as indústrias aqui instaladas, sejam elas nacionais ou estrangeiras, poucas delas possuem Centros de Pesquisa realmente ativos. É importante que se entenda as razões objetivas de por que as indústrias relutam em caminhar nessa direção, que se promova condições para que esse impasse seja superado, enfim, há que se esboçar uma certa política industrial, colocada aqui ainda em um sentido propositadamente vago, inclusive para não despertar um antagonismo precoce nos eventuais leitores. Mas nunca é demais lembrar que uma das

poucas marcas industriais brasileiras com uma certa visibilidade internacional, a Embraer, tem uma história didaticamente cartesiana: primeiro veio o ITA, em 1950, logo após o CTA e quase 20 anos depois surgiu a Embraer. De certa forma, a gênese do complexo aeroespacial nucleado em São José dos Campos é similar à do Vale do Silício, na Califórnia, que surgiu no rastro do *Caltech e Stanford*, e da *Route 128*, em Massachussetts, que surgiu no rastro do MIT. Em todos esses casos o que existia, no início, era o capital humano, a capacitação técnica; o capital físico veio depois, inclusive para criar demanda para tão generosa oferta. Parafraseando Pirandello, temos agora, outra vez, não “seis personagens à procura de um autor” mas toda uma capacitação tecnológica à procura de uma indústria, à procura de problemas reais que valham a pena ser resolvidos: falta ainda uma iniciativa política mais coordenada para enfrentar esse desafio embora perceba-se, através da criação dos Fundos Setoriais, um início de movimento nessa direção.

Na seção final deste documento voltaremos às questões acima lançadas e finalizamos esta seção fornecendo alguns dados relevantes sobre a população tecnológica do Brasil, incluindo aí indicadores sobre a distribuição relativa nas diferentes sub-áreas da Engenharia.

A Tabela 5, embora um pouco defasada no tempo, fornece dados sobre a população envolvida com tecnologia (Engenharia) no País. Note-se a saturação que já se delineia na formação de mestres, mas um vetor ainda sempre crescente na formação de doutores.

**Tabela 5**  
População das engenharias no Brasil

CATEG.	1985	1990	1995
Pesquis.	1700	2100	2410
Estud PhD	2440	2790	3280
Estud MSc	6500	7260	7200
Curs Grad	121	162	186

Fonte: L.Bevilacqua, "Science in Brazil", ABC.

Sobre a Tabela 6, que fornece a distribuição de bolsas de pesquisa do CNPq em geral, e das bolsas de nível I em particular, é importante observar que 83% das bolsas de pesquisa estão alocadas na região sudeste, um fator de concentração curiosamente o mesmo que o observado no nível mundial (ver última coluna da Tabela 2. A divisão por sub-áreas do conhecimento indica, no entanto, um peso ainda excessivo da Engenharia Civil, certamente devido às origens históricas e ao fato de que o País ainda demande um alto investimento em infra-estrutura.

**Tabela 6**  
Bolsas de Pesquisa CNPq

	Bolsas Pq	Bolsas I
Civil*	33%	31%
Elétrica	20%	20%
Metal-Mat.	18%	19%
Mecânica	17%	20%
Produção	12%	10%
TOTAL	832**	287

Fonte: Site do CNPq

\* Civil: Sanitária, Civil, Ambiental e Transportes; Elétrica: Elétrica e Biomédica; Mecânica, Mecânica Naval e Aero-Espacial; Metal-Mat: Metalurgia, Materiais, Minas e Química; Produção: Produção, Planejamento Energético.

\*\*As bolsas do CNPq cobrem, em geral, 20% da comunidade; o número de pesquisadores na área de engenharia deve assim ser da ordem de 4000, um número relativamente maior que o da Tabela (5). Não foi possível checar a consistência dos dados.

Uma área híbrida, que envolve tanto aspectos tecnológicos como das Ciências Exatas, é a Ciências da Computação e é curioso observar, como mostra a Tabela 7, que justamente nessa área, que é mais recente e moderna, já existe uma maior tendência para a homogeneização: embora ainda concentrada na região sudeste, que é responsável por cerca de 60% da produção acadêmica, as regiões nordeste e sul do País são responsáveis por quase 40% da produção nacional.

**Tabela 7**  
Indicadores da Ciência da Computação

REGIÃO	PESQUIS.	CNPq
Sudeste	55%	62%
Sul	24%	20%
Nordeste	14%	17%
Centro-Oeste	6%	0.8%
Norte	1%	0.2%
TOTAL	952	238

Fonte: Sociedade Brasileira de Ciêc. Computação.

Os dados da Tabela 7 reforçam ainda mais o argumento que a extrema concentração observada nas áreas tradicionais da Engenharia é em parte devida às razões históricas já apontadas e mostram, também, que uma política consistente de descentralização pode vir a produzir resultados interessantes para o País como um todo.



## IMPACTO SÓCIO-ECONÔMICO

O impacto sócio-econômico das engenharias se desdobra em várias atividades que, para efeito didático, serão aqui concentradas sob três grandes títulos: o da infra-estrutura, o da substituição das importações e o da modernização do País.

A carência do País em *infra-estrutura* é evidente e, dentre os vários aspectos cobertos por título tão abrangente, três parecem se destacar em especial: Recursos Hídricos, Meio Ambiente e Energia. Embora multidisciplinares em tese, parece claro que essas três atividades têm forte aderência com a Engenharia Civil. Na questão da Energia, em particular, uma série de alternativas energéticas começaram a ser estudadas no início da década de 70, entre elas a energia eólica e solar, mas esses estudos foram descontinuados no País na medida que o choque do petróleo foi absorvido; nos “países centrais”, no entanto, como EUA e Alemanha, por exemplo, a pesquisa continuou e hoje produtos nessas áreas são oferecidos no mercado, uma política que se tivesse sido seguida no País talvez pudesse hoje minorar o impacto da crise energética pelo menos regionalmente. Mesmo a controversa energia nuclear, que havia sido objeto, nos meados da década de 70, de um grande esforço de capacitação tecnológica, não só estagnou como perdeu parte de sua capacitação formada, posto que os recursos humanos na área se dispersaram.

O País enfrenta hoje um descompasso na balança de pagamentos que parece justificar uma política seletiva de *substituição das importações*, destacando-se aí a área de Microeletrônica; aqui também o esforço para se criar uma capacitação nacional foi frustrado, a competência no País tendo no máximo estagnado nos últimos 20 anos, o que representa, de fato, um retrocesso em termos relativos. Tanto no caso da Energia Eólica, como no da Energia Nuclear e da Microeletrônica, a manutenção de uma atividade de pesquisa básica, mesmo em épocas onde estavam no contra-pé do mercado, é uma questão estratégica que não deve ser descuidada; como verificamos penosamente hoje, mesmo se existisse abundância de capital os problemas decorrentes não se solucionariam de uma hora para outra e o País sofre com essa imprevidência.

Finalmente, sob o título de “Modernização do País” inclui-se atividades de fronteira, fundamentais para nossa inserção no segmento mais ativo da economia. Destacam-se aí a tecnologia da informação, uma modernização da área industrial, desenvolvendo produtos que agreguem conteúdo tecnológico mais sofisticados, e uma aproximação da área Biomédica, que certamente desempenhará um papel relevante nos próximos dez anos.

## **PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO**

Em certa medida, já se comentou no item precedente, em linhas gerais, as perspectivas que se colocam para a área de Engenharia do País ao longo da próxima década. Esmiuçar essas medidas parece ser, no entanto, um exercício fútil, pois elas dependem, em grande parte, de um arranjo geral do País e não de um ato de vontade ou de antevisão. Entendemos, por isso, que seja mais relevante colocar-se aqui alguns conceitos gerais que permitam talvez um desenvolvimento tecnológico continuado e possam beneficiar o País como um todo.

Em primeiro lugar, e acima de tudo, um País complexo, heterogêneo e grande como este não deve se amesquinhar e se contentar com uma visão limitada e periférica de seu papel, nem tão pouco pode se lançar em uma aventura irresponsável. É no fino equilíbrio entre estas duas tendências conflitantes que temos que nos movimentar e é para isso, para que esse equilíbrio seja atingido, que é fundamental traçar-se uma política industrial para o País. Estamos hoje expostos a uma onda de penetração tecnológica sem precedentes, correndo o risco real de nos tornarmos simples usuários da tecnologia sem que tenhamos o domínio do conhecimento, uma condição que nos colocaria para sempre na periferia do sistema econômico mundial. Só com uma política industrial consistente poderemos projetar um cenário de alguma estabilidade e esperança e quem sabe então atrair o entusiasmo da juventude, sem o qual jamais ultrapassaremos o cabo das tormentas: as palavras chaves aqui são “alguma estabilidade” e uma certa “perspectiva profissional” mais risonha.

É evidente que uma política industrial envolve considerações mais complexas que ultrapassam, em muito, o restrito escopo deste trabalho, mas a questão da capacitação tecnológica é uma das vertentes dessa política e é sobre ela que nos debruçamos aqui. Especificamente, o fundamental é arranjar oportunidades de trabalho para os jovens doutores, hoje quase exclusivamente restritas a um sistema universitário saturado, e duas medidas podem ser sugeridas nessa direção: a primeira, mais de curto prazo, seria incentivar as empresas que aqui vierem a se instalar a implantarem centros de pesquisa no País; a segunda, mais de médio e longo prazo, seria promover uma descentralização ordenada do aparato tecnológico hoje existente no País.

O eixo SãoPaulo-Rio de Janeiro deve se especializar, daqui para frente, aparentemente cada vez mais, na área de negócios, e essa constatação merece uma reflexão um pouco mais aprofundada. De um lado, em virtude da desregulamentação de amplos setores econômicos intensivos em tecnologia (por exemplo as Telecomunicações), existe hoje uma crescente articulação do desenvolvimento tecnológico com o mundo dos negócios; pela sua natu-

reza, o eixo Rio de Janeiro-São Paulo parece ser o local privilegiado para aprofundar esta articulação. Por outro lado, é certo que as Universidades situadas neste eixo e em outras áreas metropolitanas se verão também desafiadas a incorporar grandes contingentes de alunos de todas as camadas sociais, que deverão buscar formação universitária nos próximos anos. É possível que esse esforço venha requisitar um pouco da energia hoje dedicada à pesquisa e à pós-graduação. Assim sendo, parece correto expandir geograficamente a pós-graduação e a pesquisa acadêmica pelo interior do País, nucleando-as em Universidades regionais, em cujo entorno seria induzido o crescimento de parques tecnológicos. Assim se poderá preservar, em ambiente relativamente protegido e estável, um necessário distanciamento em relação ao dinamismo das metrópoles, hoje obrigadas a privilegiar a inovação sócio-política em detrimento da elaboração intelectual. Nem por isso, porém, deixarão de ter as regiões metropolitanas um papel fundamental, através das decisões negociais e políticas, na condução do esforço de desenvolvimento tecnológico do País. As apostas serão feitas nos grandes centros, mas iluminadas pela inteligência acadêmica e empresarial nucleada pelas Universidades de pesquisa, que precisarão se distanciar um pouco do burburinho das metrópoles e megalópoles.

É animador, nesse sentido, observar que nas atividades tecnológicas mais recentes e modernas, como as Ciências da Computação, por exemplo, já se percebe uma tendência de maior descentralização, e é importante lembrar que os próprios Fundos Setoriais destinam uma parcela ponderável de seus recursos para serem aplicados no Norte e Nordeste. Em nome da eficácia, no entanto, seria interessante que essa descentralização não fosse desestruturada, que ela fosse, se assim se pode dizer, uma “descentralização centrada”, focada em assuntos que possibilitassem nuclear polos temáticos<sup>3</sup> de capacitação; e, em nome do bom senso, seria desejável que tal descentralização não se colocasse como mais um capítulo da “destruição criadora” e que ela aproveitasse, de uma maneira profunda e fértil, a capacitação tecnológica hoje localizada no centro econômico do País.

No momento atual de nosso estágio tecnológico temos ainda, apesar dos tempos turbulentos que vivemos, razões objetivas que indicam ser possível essa retomada de iniciativa, pelo menos do lado acadêmico: possuímos uma certa capacitação tecnológica, em muitos aspectos ainda deficiente mas que tem sido consistentemente construída ao longo desses últimos 30 anos, e temos hoje uma fonte orçamentária mais estável, relacionada aos Fundos Setoriais. É só necessário, do lado do Governo, que se desburocratize a uti-

---

<sup>3</sup> A questão de “polos temáticos” remete à idéia das “vantagens comparativas” e, embora algo nessa direção deva ser sempre avaliado, temos que olhar com alguma reserva essa idéia: só como provocação, gostaríamos de lembrar que se o argumento das “vantagens comparativas” fosse invocado em meados da década de 60 a Embraer jamais teria sido construída.

lização dessa verba, para que ela sirva verdadeiramente para fomentar a pesquisa naquilo que este fomento tem de mais fundamental, que é a atração, a formação e a consolidação dos recursos humanos; do lado da academia, é importante que se universalize o mais rápido possível o uso desses fundos, que eles não fiquem restritos a pequenos feudos setoriais e sirvam de fato para agregar uma massa crítica oriunda de todas áreas correlatas: mais que generoso e útil para o País, uma atitude como essa só trará vantagens, no médio prazo, para o próprio setor para o qual o fundo foi originalmente criado. Por último, reforçando o otimismo comedido, parece existir hoje no País um ambiente mais propício, onde uma política industrial responsável não é mais vista, pelo menos por parte significativa dos formadores de opinião, como a quinta-essência do atraso.

Procuramos, até este ponto ao menos, lançar um olhar panorâmico sobre algumas questões conceituais que entendemos importantes para o desenvolvimento tecnológico, mesmo reconhecendo *a priori* o caráter necessariamente restrito do exercício realizado. Os temas propostos, e muitos outros aqui não abordados, merecem certamente um tratamento muito mais minucioso e detalhado que foge às limitações deste trabalho. Mas não poderíamos encerrar este documento sem que a vista baixasse para aspectos um pouco mais mundanos da Engenharia, que pudessem fornecer ao eventual leitor um sabor mais concreto sobre a área, que servissem enfim de estímulo e orientação na formação dos engenheiros. Outra vez, os pontos alinhavados a seguir estão longe de exaurirem o universo das possibilidades mas fornecem, assim cremos, ainda uma percepção mas apoiada agora em fatos e circunstâncias mais palpáveis. Neste contexto, os seguintes pontos merecem ser citados:

a) atualmente, nos “países centrais”, há mais procura do que oferta de engenheiros, com uma conseqüente elevação de salários. Países que importavam mão-de-obra sem formação, para trabalhos rudes, hoje importam técnicos em computação (Alemanha) ou engenheiros. Essa reversão em relação à década anterior tem um impacto difícil de ser avaliado para o Brasil, embora, em tese, seja benéfica para a Engenharia;

b) o ciclo completo da Engenharia, com a concepção, projeto e desenvolvimento de um produto, cada vez menos será percorrido em um único local ou mesmo país. Apesar disso é possível, e a história confirma, que grandes projetos de engenharia possam ser desenvolvidos nos países periféricos e sirvam como rotas de partida para o centro, desde que se busque no exterior as partes ausentes e se promova uma transferência tecnológica de alto nível: na área civil já construímos assim uma Itaipu ou uma ponte Rio-Niterói, a própria Embraer é um exemplo disso, o projeto espacial brasileiro e o do submarino nuclear também podem ser citados, este último com uma

trajetória interrompida. Desses exemplos observamos que o sucesso final da empreitada depende sempre, nesses casos, de uma clara visibilidade do ganho sócio-econômico imediato da sociedade civil;

c) a imersão no mercado globalizado somente será possível com uma infra-estrutura de última geração, para garantir a produtividade esperada; a sofisticação desses equipamentos exige um contingente de engenheiros de manutenção bem treinados, oriundos de todas as áreas da Engenharia;

d) a produção industrial exige hoje, mais que em qualquer outra época, ajustes e operações de partes integradas e automatizadas; além de uma capacitação técnica específica ela demanda, do engenheiro, que tenha uma visão integrada do todo, uma visão sistêmica;

e) a Engenharia tem atravessado, de forma quase sistemática nos últimos tempos, as fronteiras previamente demarcadas do conhecimento e definido novos cardápios nessa travessia: as áreas interdisciplinares são cada vez mais importantes (Biomédica, Biomecânica, Ambiental etc) e daqui a dez anos talvez não sejamos mais capazes de reconhecer algumas engenharias em seus recortes clássicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barré, R. & Papon, P. (2000): "The state of world science", Nature Year Book of Science and Tech.

Bevilacqua, L. (1997): "Science in Brazil", Academia Brasileira de Ciências.

Journal Citation Reports (1997), Science Edition and Social Science Edition.

Site CNPq: [www.cnpq.br](http://www.cnpq.br)

## Os Autores

JOSÉ AUGUSTO PENTEADO ARANHA (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor pela Massachusetts Institute of Technology (MIT) e professor na Universidade de São Paulo (USP).

HANS INGO WEBER. É doutor em Engenharia pela Technische Universität München (Alemanha) e professor na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e na Universidade de Campinas (Unicamp).

HÉLIO WALDMAN. É doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Stanford (Califórnia, EUA) e professor na Universidade de Campinas (Unicamp).

LUIZ FERNANDO SOARES. É doutor em Ciências da Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e professor de Informática na mesma Universidade.



*Academia Brasileira de Ciências*

# Área de Ciências Físicas

## A Física no Brasil: presente e futuro

CARLOS ALBERTO ARAGÃO DE CARVALHO FILHO

ALAOR SILVÉRIO CHAVES

HUMBERTO SIQUEIRA BRANDI

LUIZ NUNES DE OLIVEIRA

MARCUS VENICIUS COUGO PINTO

PAULO MURILO CASTRO DE OLIVEIRA

SERGIO MACHADO REZENDE

Apresentamos aqui a evolução, as áreas de pesquisa e o impacto sócio-econômico da física no mundo, e analisamos seu atual estágio de desenvolvimento e suas perspectivas futuras no Brasil.

### **A EVOLUÇÃO DA FÍSICA**

*A física é uma ciência experimental, cuja linguagem é a matemática.*

*Galileo Galilei*

A Física é a ciência que investiga o universo através do estudo de seus constituintes e dos fenômenos naturais decorrentes das interações entre eles. Ela os descreve em linguagem matemática e procura inferir leis gerais cuja correlação leve a teorias físicas. Essas teorias se traduzem em modelos matemáticos que, além de descreverem e explicarem a natureza, permitem prever resultados de experimentos, novos fenômenos e mesmo novos constituintes do universo.

A fenomenologia, descrição sistemática dos fenômenos, vale-se de medidas cuidadosas, obtidas de observações e da realização de experimentos, cuja modelagem matemática visa a indução de leis físicas. Como objetivo último, as leis devem ser englobadas por uma teoria geral que permita, através de cálculos matemáticos, arriscar previsões a serem testadas por experimentos e observações. A comprovação experimental é o critério único e inapelável de validade das teorias físicas. Portanto, a experiência participa da

construção das teorias físicas em suas duas pontas: é sua fonte inspiradora e seu teste final.

O estudo de nosso sistema solar ilustra bem o roteiro do parágrafo anterior, hoje conhecido como método científico moderno, cuja paternidade se atribui ao físico Galileo. Inúmeras observações astronômicas, especialmente as de Tycho Brahé, permitiram sistematizar dados, descrevê-los em linguagem matemática e inferir leis fenomenológicas, como as de Johannes Kepler. Estas foram incorporadas na “teoria clássica da mecânica e da gravitação” por Isaac Newton, que utilizou o cálculo íntegro-diferencial para obter com precisão as órbitas planetárias e explicar as leis fenomenológicas de Kepler. Sua teoria permitiu posteriormente prever a existência de Netuno, necessária para explicar anomalias na órbita de Urano, e de Plutão, desta vez com base em anomalias na órbita de Netuno.

Na Física, como no cinema, nem sempre os roteiros são seguidos. Há exemplos históricos de queima de etapas nos quais uma teoria emergiu de pura intuição física acoplada a escolhas matemáticas acertadas. Em alguns casos, dispensou-se a fenomenologia, leis fundamentais foram postuladas e a teoria delas decorrente passou a ser testada experimentalmente com êxito. Generalizações matemáticas, ditadas por intuição ou mesmo por um sentido estético, geraram teorias cujas leis e fenomenologia foram obtidas e testadas *a posteriori*. Seja qual for seu processo de criação, as teorias físicas estão atreladas a disciplinas matemáticas, técnicas experimentais, instrumentação e, em prazo mais longo, mas que se encurta a cada dia, a avanços tecnológicos.

As bases do que hoje chamamos de Física Clássica foram estabelecidas entre os séculos XVII e XIX. Teorias como a mecânica, o eletromagnetismo, a termodinâmica, a dinâmica de fluidos e a mecânica estatística valeram-se do cálculo, da análise vetorial e das equações diferenciais em seu desenvolvimento matemático, enquanto grande variedade de instrumentos e técnicas experimentais foram criados para investigar os fenômenos e identificar os agentes da física clássica. A revolução industrial do século XIX, com a disseminação das máquinas a vapor, decorreu dos avanços na termodinâmica; analogamente, o progresso no eletromagnetismo, além de produzir a unificação dos fenômenos elétricos e magnéticos via equações de Maxwell, revolucionou as áreas da energia e das comunicações ao introduzir a luz elétrica e, já no século XX, o telégrafo sem fio, o rádio e a televisão. Ao final do século XIX, os êxitos da física clássica na descrição da fenomenologia então conhecida alimentavam a sensação de que já se dispunha do essencial para descrever a natureza. Essa sensação, no entanto, sucumbiu diante de diversos resultados que contradiziam a física clássica, como a constatação de que o modelo clássico do átomo previa sua instabilidade.

Logo no início do século XX, surgiram duas teorias que viriam a revolucionar o mundo: a mecânica quântica, cuja semente foi uma lei fenomenoló-



gica proposta por Planck em 1900, para explicar a radiação eletromagnética dos corpos aquecidos, denominada radiação de corpo negro, e cuja formulação teórica foi feita ao longo dos primeiros 30 anos do século, com base em uma vasta gama de fenômenos precisamente investigados, por Einstein, Bohr, Schrödinger, Heisenberg, Pauli e Dirac, entre outros; e a relatividade de Einstein, na versão restrita, em 1905, e na geral, em 1915. Pode-se dizer que a Física do século XX foi construída sobre o alicerce dessas duas teorias, aliadas a grande número de descobertas experimentais também revolucionárias, como a da supercondutividade, já em 1911, e a da condução eletrônica em semicondutores, na década de 40.

A partir desses pilares, a Física passou a trilhar duas rotas que se entrelaçavam com frequência: a da abrangência, que buscava abarcar o maior número possível de fenômenos, e a da síntese, que visava unificar suas teorias para possivelmente chegar a uma teoria unificada das interações, sonho não realizado de Einstein. Para trilhar esses dois caminhos, foi necessário percorrer diferentes escalas de energia, desde submúltiplos do elétron-volt (eV) até próximo à energia de Planck, de  $10^{19}$  GeV.

A mecânica quântica foi originalmente utilizada para descrever fenômenos de física atômica, obtendo resultados de impacto como o cálculo do espectro do hidrogênio. Logo suas aplicações se estenderam a energias mais baixas, passando a incluir a física molecular e a dos agregados de átomos e moléculas, os sólidos e fluidos, cujo estudo constitui hoje a física da matéria condensada. Sua extensão à faixa dos submúltiplos do elétron-volt a levou aos limites da multidisciplinaridade, chegando à físico-química e à física biológica, diversificando seus métodos para tratar sistemas cada vez mais complexos. Já sua extensão a energias mais altas, passando pelos keV atômicos até os MeV característicos da física nuclear, passou a exigir uma síntese com a relatividade restrita para poder tratar partículas subatômicas com energias relativísticas. Essa síntese deu origem à teoria quântica dos campos, cuja gênese remonta ao trabalho pioneiro de Dirac, e que, após descobertas experimentais de impacto, como a da existência do pósitron, antipartícula do elétron, e da anomalia nas linhas espectrais do hidrogênio, denominada desvio de Lamb, rapidamente se desenvolveu para se tornar a base do atual modelo padrão da física de partículas elementares.

A teoria da relatividade geral logo foi aplicada à cosmologia. A descrição clássica da teoria de Einstein permitiu estudar a evolução do universo até o ponto em que nova síntese se fez necessária; desta vez para estudar a “nucleossíntese” iniciada com a formação dos núcleos mais leves, como  $H^2$ ,  $He^3$ ,  $He^4$  e  $Li^7$ , a partir do hidrogênio. Quanto mais se recuava no tempo cosmológico, a necessidade de incluir fenômenos a energias cada vez mais altas impunha novas sínteses. Quase como subproduto disso, surgiu a

astrofísica de partículas, que incorporou partículas subatômicas e descrições quânticas aos métodos clássicos da astrofísica dos séculos precedentes.

Quanto às descobertas experimentais, muitas precederam a teoria que as explicou, enquanto outras sucederam a teoria que as previu. Assim, a supercondutividade, a superfluidez, o efeito Hall quântico inteiro e fracionário, e tantos outros exemplos da física da matéria condensada surgiram antes que se conhecesse a teoria correspondente. O mesmo ocorreu com a descoberta da grande maioria das partículas subatômicas, que finalmente levou à classificação das partículas em hádrons e léptons, e à identificação dos quarks como sendo os constituintes dos hádrons. Por outro lado, várias partículas previstas teoricamente foram detectadas em experimentos envolvendo aceleradores, o mesmo ocorrendo com a radiação de fundo do universo, com temperatura de 2,73 kelvins, cujo espectro é descrito com a precisão das medidas pela lei da radiação de corpo negro de Planck, que marcou o nascimento da mecânica quântica.

A evolução de observações, experimentos e teorias ao longo das rotas da abrangência e da síntese no decorrer do século levou a uma descrição do mundo físico que pode ser subdividida como na lista que aparece na recente publicação da “American Physical Society”, comemorativa da Física da virada do milênio e do centenário da sociedade: física de partículas e campos; astrofísica; física nuclear; física atômica, molecular e ótica; física da matéria condensada, física estatística; física de sistemas complexos; física de plasmas; físico-química e física biológica; física computacional; e física aplicada.

## AS ÁREAS DE PESQUISA

*Faça-se ciência com os fatos, como se faz uma casa com pedras;  
mas uma acumulação de fatos não é uma ciência,  
assim como um montão de pedras não é uma casa.*

*Henri Poincaré*

A física de partículas e campos é responsável pelo atual modelo padrão que descreve as interações forte e eletrofraca, típicas dos fenômenos subatômicos. Nesse modelo, toda a matéria já observada é constituída de partículas denominadas quarks e léptons, que interagem por intermédio de glúons, nas interações fortes, ou de bósons intermediários e fótons, nas interações eletrofracas. Quarks e léptons são sujeitos ao “princípio de exclusão de Pauli”, que impede duas dessas partículas idênticas de ocuparem um mesmo estado quântico; elas são chamadas de férmions, para distinguí-las dos bósons que intermediam as interações, como os glúons, os fótons e os bósons intermediários das interações fracas:  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ . Esses bósons

evadem o princípio de Pauli e podem ser interpretados como “quanta” de radiação. Há outro bóson, o de Higgs, postulado pelo modelo para gerar massas, ainda não detectado, que é objeto de intensa busca experimental. A fenomenologia do modelo padrão é uma área de grande atividade de pesquisa que objetiva calcular os processos físicos estudados, ou em vias de sê-lo, em diversos experimentos. A parte experimental da física de partículas e campos é feita com os grandes aceleradores de partículas de laboratórios como o Cern, na Europa, o Fermilab e Brookhaven, nos Estados Unidos, entre outros; além disso, a física de raios cósmicos tem sido cada vez mais utilizada na parte observacional, permitindo acesso a energias inatingíveis nos laboratórios, como as envolvidas no projeto Auger ( $10^{20}$  eV). A parte teórica envolve a utilização de matemática sofisticada: as teorias quânticas de campos, que incluem as teorias de calibre não abelianas, base formal do modelo padrão, usam resultados da teoria dos grupos, geometria diferencial, topologia e análise funcional. Extensões supersimétricas do modelo padrão permitem transformar férmions em bósons e preconizam a existência de parceiros supersimétricos para todas as partículas já detectadas, cuja busca será, nos próximos anos, grande desafio experimental. Finalmente, as teorias de supercordas, que parecem ter como pano de fundo a chamada teoria-M, tentam unificar as interações do modelo padrão com a gravitação e exigem matemática até mesmo além da fronteira já formalizada pelos matemáticos.

A astrofísica engloba a cosmologia, verdadeira crônica de nosso universo, e a astronomia, sua base fenomenológica, com seus dados observacionais obtidos através do uso de telescópios, balões atmosféricos e satélites acoplados a ótica e eletrônica de ponta. Aqui, astronomia e física de raios cósmicos trazem informação sobre a história do universo. A página inicial dessa crônica conta a descoberta experimental de Erwin Hubble, em 1929, de que as galáxias estão se afastando de nós como se o universo estivesse em um processo de expansão. Hoje há evidência inquestionável de que o universo se expande e esfria, aparentemente a partir de uma grande explosão inicial, o “Big Bang”, que a cosmologia formaliza no “modelo cosmológico padrão”; buscam-se objetos exóticos, como buracos negros; tenta-se encontrar a matéria escura que dará conta da massa necessária para explicar o universo nos termos do modelo padrão; investiga-se a sutil radiação gravitacional; estudam-se as microondas da radiação de fundo para delas extrair, entre outras coisas, informações sobre o processo de formação das cerca de 50 bilhões de galáxias que povoam o firmamento. Para além do modelo cosmológico padrão, os chamados modelos inflacionários são alvo de muita especulação teórica e deverão ser refinados e modificados com o surgimento de novos dados observacionais.

A física nuclear de hoje tem-se beneficiado da existência de uma teoria das interações fortes, a “cromodinâmica quântica”, bem como da

cosmologia moderna, para investigar possíveis transições de fase ocorridas ao longo da história do universo que resultaram na formação de hádrons, compostos de quarks, e, posteriormente, núcleos leves. Há experimentos em curso, ou sendo projetados, em Brookhaven e no Cern, para tentar replicar e compreender esta “hadronização”. Aceleradores de várias faixas de energia prosseguem o estudo de fenômenos nucleares. Os dados obtidos são muitas vezes tratados por modelos fenomenológicos, como os hidrodinâmicos, em função da dificuldade de relacioná-los com a teoria mais fundamental. Esses “modelos efetivos” e suas consequências são bastante estudados e fazem a ponte entre a teoria e a fenomenologia.

As físicas atômica e molecular, e a ótica, passaram por grande revolução com a descoberta do laser, radiação intensa e monocromática que se origina de efeitos cooperativos em transições atômicas. Nessas áreas, previsões da mecânica quântica e, atualmente, da eletrodinâmica quântica – a teoria quântica de campos que descreve a interação entre elétrons e fótons – são testadas com precisão de uma parte em  $10^8$  ou até mesmo em  $10^{12}$ , graças ao laser, à produção de feixes atômicos e moleculares e a técnicas de aprisionamento de átomos e moléculas em cavidades. O estudo da interação entre radiação e matéria é a tônica dessas áreas, nas quais espectroscopia, manipulação de átomos e moléculas, foto-interação e colisões atômicas são métodos comumente utilizados. Na fronteira mais atual da pesquisa, procura-se utilizar processos quânticos para transmitir informação, o que já levou à disseminação do termo “informação quântica”. Há também enorme atividade atual, tanto teórica quanto experimental, em condensados de bósons obtidos de transições de fase quânticas que ocorrem a baixas temperaturas, os chamados “condensados de Bose-Einstein”.

A física da matéria condensada é aquela em que, tradicionalmente, a teoria tem seguido a reboque da experiência. São inúmeros os fenômenos descobertos e investigados envolvendo aglomerados de átomos e moléculas estruturados em sólidos e fluidos, aí incluídos polímeros, vidros e ligas amorfas. Estrutura conformacional e propriedades elétricas, magnéticas, óticas, mecânicas e térmicas desses aglomerados têm sido medidas e calculadas com precisão cada vez maior. As técnicas experimentais incluem eletrônica sofisticada, criogenia e ótica. A investigação experimental dos materiais à luz da mecânica quântica levou à compreensão da física que rege os semicondutores, supercondutores, superfluidos e, mais recentemente, outros fluidos quânticos, como o do efeito “Hall”. O estudo de sistemas fortemente correlacionados, da supercondutividade a altas temperaturas, da superfluidez e dos líquidos quânticos ocupa grande parte do trabalho experimental e teórico. As técnicas experimentais de crescimento de heteroestruturas, desenvolvidas no estudo de semicondutores, permitiram fabricar e

estudar sistemas idealizados, hoje conhecidos como pontos, fios e poços quânticos. Essa iniciativa deu origem, no final da última década, a um crescimento explosivo da pesquisa de estruturas nanoscópicas semicondutoras e magnéticas voltadas para o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos. Como veremos, trata-se de área com grande interface com o setor industrial.

A física estatística valeu-se dos exemplos de física atômica e molecular, da ótica e da física da matéria condensada para formular tratamento estatístico geral aplicável a sistemas com grande número de graus de liberdade. Desse tratamento surgiu uma teoria de transições de fase, de inspiração fenomenológica, baseada no chamado “grupo de renormalização”, de enorme abrangência. O desenvolvimento da física estatística nas últimas três décadas levou à descoberta e elucidação de alguns fenômenos muito interessantes e intimamente entrelaçados. O início desse processo foi o reconhecimento de que próximo de uma transição de fase os sistemas perdem suas escalas características tanto de tempo quanto de distâncias. Por isso, os sistemas são ligados por relações de auto-similaridade, chamadas “leis de escala”, a réplicas reduzidas ou ampliadas de si mesmos. Tais relações de auto-similaridade são a base da já referida teoria de grupo de renormalização para as transições de fase. Uma decorrência da perda de escalas características é o aparecimento do fenômeno da universalidade: o comportamento do sistema depende somente de suas simetrias e de algumas propriedades qualitativas e não mais de seus detalhes quantitativos.

A física dos sistemas complexos vale-se da universalidade já mencionada para estudar fenômenos similares, reconhecidos em muitos sistemas fora do equilíbrio, incluindo os sistemas denominados super-resfriados, incapazes de romper as barreiras energéticas que os separam do estado de equilíbrio. Um termo foi cunhado para descrever sistemas auto-similares a suas réplicas reduzidas ou ampliadas: eles são denominados “fractais”. O fenômeno da fractalidade também foi reconhecido nas flutuações de variáveis estatísticas, e nesse caso tais variáveis não mais obedecem à célebre estatística de Gauss, mas sim à denominada estatística de Lévy. Em particular, as variações climáticas, flutuações nas bolsas de valores e em outras variáveis econômicas e sociais demonstram esse tipo de fractalidade. Todo esse elenco de descobertas e desenvolvimentos têm implicações em várias áreas da física, desde a hidrodinâmica até a cosmologia, e também em muitas outras ciências. Esse é um dos mais eloqüentes exemplos de desenvolvimentos recentes na física com amplas aplicações interdisciplinares. Uma consequência feliz do fenômeno da universalidade é a possibilidade de se fazer simulação computacional de um sistema complexo através de um modelo simplista, que pode revelar o comportamento do sistema complexo se ambos pertencerem à mesma classe de universalidade.

A interdisciplinaridade é também a tônica da físico-química e da física biológica, ambas de grande avanço recente. As técnicas experimentais e teóricas da física têm sido usadas na química e na biologia com êxito considerável, propiciando uma fertilização mútua com aquelas ciências. Espectroscopia, técnicas variadas de espalhamento e manipulação de micro-organismos com lasers são exemplos atuais de destaque.

A física de plasmas se dedica a estudar fluidos constituídos por partículas carregadas, sejam elas elétrons ou íons. Em particular, íons confinados por campos magnéticos intensos e submetidos a altas temperaturas e pressões são objeto de intensa investigação, visando tanto o entendimento de processos físicos quanto aplicações tecnológicas futuras como a fusão nuclear. O estudo de plasmas também se aplica ao espaço intergaláctico e aos plasmas que ocorrem em estrelas.

Por fim, a física computacional e a física matemática se beneficiam dos avanços de cada uma das áreas anteriores, sistematizando técnicas de cálculo, a cada dia mais ligadas à computação de alto desempenho, e formalizando técnicas matemáticas que vão sendo incorporadas ao arsenal da física.

## **O IMPACTO SÓCIO- ECONÔMICO**

*Os povos sem ciência não passam de cortadores de lenha  
e carregadores de água para os povos mais esclarecidos.*

*Sir Ernest Rutherford*

Todas as áreas descritas acima, além de gerarem conhecimentos e formarem recursos humanos de alta qualificação, serviram de esteio e estímulo a avanços tecnológicos de grande importância sócio-econômica, que contribuíram para mudar dramaticamente o mundo – nem mesmo as mentes mais imaginativas seriam capazes de prever o impacto das diversas áreas da física no século XX.

Já mencionamos que a questão energética passou por grandes transformações devido à popularização da energia elétrica, a partir do fim do século XIX. Com o século XX, a área nuclear introduziu nova fonte de energia a partir da fissão dos átomos, realizada de forma controlada em reatores nucleares. Pesquisas com células solares e células combustíveis, que se acoplam com o estudo de materiais, bem como as tentativas da física de plasmas de obter a fusão nuclear controlada, representam caminhos alternativos de extrema importância neste início de milênio. As implicações ambientais decorrentes da utilização excessiva de combustíveis fósseis e o futuro esgotamento destas fontes apontam para a física como a disciplina

natural para encontrar soluções alternativas para o problema energético, de tamanha relevância para a humanidade.

As telecomunicações passaram por verdadeira revolução no século XX. Ao telégrafo, ao rádio e à televisão foram adicionados: os semicondutores, que levaram aos transistores, substitutos das válvulas, aos circuitos integrados e aos microprocessadores responsáveis pela miniaturização de computadores e aparelhos diversos; o laser e as fibras óticas, que aumentaram enormemente a fidelidade e a velocidade na transmissão de informações. Graças a isso, as comunicações de hoje utilizam satélites e telefonia baseada em fibras óticas para a transmissão de dados a velocidades e volumes jamais vistos, causando mudanças profundas nas relações econômicas, políticas e sociais.

A computação teve crescimento exponencial com os semicondutores e toda a pesquisa em materiais. Hoje já se fala em desenvolver computadores óticos, com a luz substituindo elétrons, e em computação quântica. Nessa última, a mecânica quântica seria o paradigma para armazenamento e manipulação de informação, com os atuais “bits” dando lugar a “quantum-bits”.

A microeletrônica, a optoeletrônica e a física de materiais, aliadas ao estudo do magnetismo, são responsáveis por um número cada vez maior de dispositivos que compõem a maior parte da aparelhagem industrial, assim como a de uso corrente na sociedade. Uma moradia típica do novo milênio possui energia elétrica, refrigeradores, *freezers*, fornos de microondas, sensores fotoelétricos, aparelhos de CD's, DVD's, gravadores e computadores – todos evidenciando que as leis físicas nos fornecem a chave para nos valermos da natureza como aliada na melhoria das condições de vida. Essa melhoria será ainda mais notável com o advento da nanotecnologia, área de grande atividade atual, onde os componentes básicos têm dimensões do átomo.

Também na medicina tem sido enorme o impacto da Física. Desde os raios X, passando pelo ultra-som, ecocardiógrafo-doppler, tomografia por ressonância magnética e técnicas cirúrgicas que utilizam lasers, dispõe-se hoje de meios seguros para investigar o corpo humano com métodos muito menos invasivos e mais confiáveis. A esses somam-se os métodos desenvolvidos por físicos na biotecnologia, de relevância, por exemplo, para o seqüenciamento dos genomas. Nos vários setores da indústria de construção civil, naval e aeronáutica, o estudo de materiais adquiriu importância capital. A geofísica de petróleo, a geofísica dos solos, a geofísica espacial e a climatologia são outras áreas em que Física e físicos têm tido impacto social e econômico. A introdução de técnicas experimentais e instrumentos originários da Física no setor industrial tem-se tornado elemento transformador significativo, encurtando a distância entre pesquisa básica e aplicada e pesquisa tecnológica.

A Física, com seu método científico, tornou-se um paradigma para todas as ciências naturais e esteve na origem da revolução tecnológica do final

do século XX. A importância política e sócio-econômica da ciência teve reconhecimento universal no século XX. Nos países industrializados, físicos passaram a participar de comissões governamentais em que se definiam políticas para a sociedade graças ao impacto de sua ciência na vida do planeta; não há como negar que o poderio nuclear, a guerra eletrônica, o *hardware* da sociedade da informação e outros condicionantes da geopolítica mundial refletem claramente este impacto.

Essa ciência tão rica, cuja missão é tão intimamente ligada à saga da humanidade rumo ao conhecimento do mundo ao seu redor, inicia o milênio acreditando saber contar a história do universo desde  $10^{-43}$  s até sua idade atual, estimada em  $15 \times 10^9$  anos ( $\sim 10^{17}$  s), uma história que envolve pelo menos 50 bilhões de galáxias distribuídas em gigantescos filamentos que se alternam com imensos vazios. Dos megaparsecs da astrofísica, aos  $10^{-17}$  cm investigados pelos aceleradores de partículas, a física observa, deteta e mede com precisão cada vez maior, teoriza com ousadia, a ponto de abrir novas áreas na matemática, e se aventura rumo a sistemas cada vez mais complexos, embarcando integralmente na multidisciplinaridade que há de ser a marca registrada do novo milênio.

## A FÍSICA NO BRASIL

*Antecipava-lhe as dificuldades, mas acreditava  
nas suas forças para saltar sobre elas.  
Gilberto Amado*

O Brasil conta hoje com mais de 6.000 físicos (2.500 com doutorado), sendo cerca de 46% experimentais e 54% teóricos, distribuídos por todas as áreas de pesquisa, reagrupadas conforme o quadro abaixo:

* * Físicos * * Áreas	Experimentais %	Teóricos %
Partículas e campos	2,6	10,4
Astrofísica	4,5	7,7
Nuclear	2,7	3,6
Atômica e molecular	3,4	4,7
Matéria condensada e ótica	30,0	19,2
Plasmas	0,8	1,2
Biofísica	1,0	1,0
Estatística e computacional	-----	7,2



O quadro revela distorções: há um claro desequilíbrio entre as áreas e uma percentagem de físicos experimentais aquém da que se observa em países industrializados (70-75%), notadamente na área de partículas e campos.

Outro aspecto a considerar é a distribuição geográfica dos físicos brasileiros. Há forte concentração na região Sudeste, especialmente no estado de São Paulo, onde se encontram 50% dos físicos do País. Atribui-se ao montante e à regularidade dos investimentos em pesquisa e formação de recursos humanos realizados pela Fapesp o destaque da física paulista no cenário nacional.

A título de comparação, nos Estados Unidos há cerca de 40.000 doutores em Física, distribuídos em números significativos por todas as áreas, sendo 75% experimentais. Diferentemente do Brasil, onde 98% dos físicos trabalhavam em universidades e centros de pesquisa em 1993, apenas 25% dos físicos americanos atuam no setor acadêmico, sendo o restante empregado pelo setor produtivo, em áreas que englobam desde indústrias de alta tecnologia até o setor financeiro. A intensa utilização dos físicos na indústria nos países desenvolvidos está intimamente associada à maior proporção de físicos experimentais ali observada.

Os 6.000 físicos brasileiros atuam como professores e pesquisadores em cerca de 60 instituições de ensino e pesquisa, a grande maioria estatais. A maior parte deles pertence à Sociedade Brasileira de Física (SBF), responsável pela organização de 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. O encontro de Física da Matéria Condensada inclui Física Atômica e Molecular, Ótica e Física Estatística e Computacional; o de Partículas e Campos inclui Cosmologia, Gravitação e Física Matemática. Os encontros congregam pesquisadores e estudantes de pós-graduação; o de ensino de Física reúne também professores de física do segundo grau. Nos últimos quatro anos, os números de participantes têm sido, em média: mil em matéria condensada; 200 em nuclear; 300 em partículas e campos; 150 em plasmas; e mil em ensino de física. Os físicos brasileiros atuam também em duas outras entidades científicas nacionais: a Academia Brasileira de Ciências (ABC) e a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), dedicadas ao conjunto de todas as ciências. Há 4 periódicos nacionais para publicação de trabalhos de pesquisa em Física: os 3 editados pela SBF – “Brazilian Journal of Physics”, Revista de Física Aplicada e Instrumentação, e Revista Brasileira de Ensino de Física – e o editado pela ABC, os Anais da Academia Brasileira de Ciências, que abrange as demais ciências.

No setor acadêmico, a produtividade dos físicos é avaliada por seu desempenho em pesquisa e ensino. A produtividade em pesquisa se reflete

em publicações em periódicos de circulação internacional. Livros e publicações em anais de conferências são também utilizados nas avaliações, que gozam de credibilidade quando realizadas por pares de reconhecida competência. Apesar de muito mais comuns no setor produtivo, patentes também são consideradas como indicador de produtividade no meio acadêmico. Já no caso do ensino, a contribuição dos físicos estende-se à formação de cientistas e engenheiros das mais variadas especialidades.

A produtividade em pesquisa dos físicos brasileiros pode ser avaliada de distintas maneiras como, por exemplo, pelo número de publicações no “Physical Review” e “Physical Review Letters”, periódicos de prestígio internacional da “American Physical Society”. Neles, em 1995, 1996 e 1997, o número de trabalhos brasileiros chegou a 170, 210 e 250, respectivamente, um aumento de 45% no período; todavia, enquanto a produção americana em igual período representou 35% do total, a brasileira correspondeu a apenas 1,5%, percentagem que certamente poderia aumentar com o crescimento do número de físicos no Brasil, já que a produção *per capita* de 0,1 artigo dos físicos americanos nesse grupo de revistas é igual à de seus colegas brasileiros. Se ampliarmos o leque, incluindo as publicações dos físicos brasileiros em todas as revistas indexadas no “Science Citation Index” teremos em 1995, 1996 e 1997, respectivamente, 924, 1.163 e 1.298 artigos, um crescimento de 40% no período. Finalmente, se nos concentrarmos nas publicações no “Physical Review Letters”, revista destinada a publicar resultados de impacto, merecedores de divulgação rápida, os artigos de brasileiros saltaram de 2 em 1977, para 43 em 1998, crescimento bem maior que os 45% do conjunto das publicações da APS, o que parece indicar que a qualidade cresceu mais que a quantidade.

O desempenho em pesquisa da Física brasileira levou-a a um grau de maturidade que a coloca na liderança do cenário científico nacional. Ao lado das ciências biomédicas, ela exhibe os maiores índices de impacto do país: o número de citações por artigo de Física tem estado entre 2 e 3, nos últimos 20 anos, um número respeitável por padrões internacionais. Essa maturidade pode ser atestada por alguns dados de São Paulo: enquanto os números de bolsas da Fapesp de iniciação científica, mestrado e doutorado parecem ter alcançado regime estacionário na Física, as de pós-doutorado têm crescido e representam 25% do total. Também nos temáticos da Fapesp, projetos que requerem boa articulação científica, a Física tem papel de destaque: dos 21 de 1994, 4 são de física (MR\$ 3 dos MR\$ 17 disponíveis), enquanto em 1999, esse número foi para 10 dos 65 temáticos (MR\$ 5,3 dos MR\$ 55,7 disponíveis). O mesmo destaque se verifica nos pedidos de auxílio e em projetos competitivos, como os de recuperação de infra-estrutura. Nacionalmente, o quadro não é diferente, como evidenciam os resultados do Pronex,

programa de núcleos de excelência: dos 55 projetos da área de ciências exatas e da terra, 2 são de astrofísica e 29 são de Física; destes, 18 são experimentais e 11 teóricos, distribuídos por praticamente todas as áreas de pesquisa listadas anteriormente.

Paradoxalmente, apesar de a Física ser responsável por cerca de 30% de toda a produção científica do País, seu número de bolsas de produtividade em pesquisa do CNPq tem-se mantido abaixo de 10% do total de bolsas, o que tornam as áreas de Física e Astronomia as mais competitivas e rigorosas nos critérios de concessão: os 637 físicos e astrofísicos bolsistas de produtividade em pesquisa têm currículos e produção científica de padrão reconhecidamente internacional, mas muitos não bolsistas também, o que indica um rigor excessivo e inibidor. Isso reflete uma tendência a ser corrigida: o programa de bolsas de produtividade em pesquisa do CNPq, que inicialmente introduziu um diferencial de qualidade em universidades e centros de pesquisa e serviu de estímulo à produção científica, não está sendo capaz, por não ter sido ampliado, de incluir pesquisadores competentes que mereciam dele participar. A falta de investimento na ampliação do programa tem inibido a criatividade dos pesquisadores – muitos deixam de lado projetos mais ousados e que podem requerer mais tempo para renderem publicações – e criado um estigma negativo e injusto para muitos que foram alijados do sistema de bolsas. É importante notar que a relação custo-benefício dessa ampliação é das melhores, pois o programa requer hoje em dia apenas cerca de 90 milhões de reais e é um dos maiores responsáveis pelo notável aumento na produção científica nacional desde sua criação.

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 campos, e justifica sua ousadia em lançar-se em projetos experimentais de porte no país, como o que visa detetar 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, que junto com o Laboratório Nacional de Astronomia (LNA), é um dos primeiros exemplos de laboratórios compartilhados por grupos de todo o país e da América Latina. Outros exemplos importantes são o da internet, criada pelos físicos no Cern, cuja implementação no Brasil teve a participação decisiva dos físicos brasileiros, o mesmo valendo para outros instrumentos multidisciplinares de grande utilidade, como a “Web of Science”.

É igualmente importante avaliar a produtividade dos físicos brasileiros no ensino, ou seja, na formação de novos quadros para a ciência e

tecnologia brasileiras. Eles participam a cada ano, através da docência nas chamadas disciplinas de serviço, da formação de milhares de cientistas (matemáticos, químicos, geólogos, biólogos etc.) e engenheiros, além de serem responsáveis pela formação de novos físicos. No caso desses últimos, é preocupante que, em 1999, 655 estudantes formaram-se na disciplina, o que representa apenas 5,8% das 11.184 matrículas nos cursos de física. Esse número é mais um exemplo do “funil de exclusão” da educação brasileira: em 1998, 20% dos matriculados no 1º grau passaram para o 2º grau, dos quais 30% entraram no 3º grau; desses, 12% concluíram sua formação, enquanto que na pós-graduação apenas 6% dos inscritos concluem o curso. Apesar desse quadro de exclusão, em 1998 havia 1.600 estudantes de pós-graduação em física, o que equivalia a um aumento de quase 100% no número de estudantes de pós-graduação ao longo dos dez anos anteriores. No mesmo período, o número de doutores em Física no Brasil passou de 600 para 2.400, portanto, quadruplicou. Tomando o período de 1970 a 1998, o número de doutores em Física no Brasil aumentou por um fator 12. Esse fator espantoso evidencia a notável capacidade de resposta a investimentos em Física, apesar de eles serem irregulares e parcimoniosos como percentagens do PIB. Na realidade, essa capacidade de resposta supera as expectativas mais otimistas, como demonstra o estudo feito em 1992 pelo físico Sérgio Machado Rezende, da UFPE: nele, uma extrapolação linear do número de doutores em Física projetava um aumento de 100% até 2006; além dessa projeção, outra, considerada otimista pelo autor, projetava um aumento de 160%; o número de doutores hoje indica que mesmo o prognóstico mais otimista para 2006 será superado. Iniciativas como a da SBF, que vem organizando olimpíadas de Física para os estudantes de ensino médio, certamente contribuirão para aumentar ainda mais nosso número de doutores.

Também no ensino, a exemplo do que ocorre na pesquisa, nota-se forte concentração em São Paulo. A Física paulista é responsável por 53% dos 436 doutores formados de 1996 a 1998, enquanto as universidades federais contribuíram com 29% e as demais com 18%. Quanto aos mestres, dos 730 formados no mesmo período, 42% o foram nas universidades paulistas, 47% nas federais e 11% nas demais. Mais uma vez, a produtividade segue inexoravelmente o montante e a regularidade dos financiamentos em física no País. Tampouco deve surpreender que a razão entre o número de experimentais e teóricos no estado de São Paulo seja maior que a média brasileira e mais próxima da americana.

No que tange à relevância sócio-econômica da Física brasileira, há que destacar seu papel na formação de cientistas e engenheiros, e sua importância para qualquer profissão de cunho tecnológico. A base científica que é repassada aos estudantes em seu aprendizado de Física torna-se mais e mais necessária numa sociedade tecnológica e começa a haver um reconheci-

to, por parte de várias profissões, de que é imperativo aprimorar essa base. Quanto ao impacto direto da Física brasileira na geração de tecnologias e de novos produtos e serviços, a situação é bem diferente do que ocorre nos países industrializados. Apenas em alguns poucos casos é possível identificar exemplos da aplicação da Física no setor produtivo: em São Carlos e Campinas, a indústria optoeletrônica estabeleceu empresas bem sucedidas graças a grupos de físicos originários das universidades locais. Há seis empresas na área de ótica em São Carlos, com um faturamento anual de 40 milhões de dólares, que se destacam no mercado internacional. Em Campinas, o número é ainda maior; além disso, grupos da Unicamp têm parcerias com a indústria de telecomunicações em fibras óticas, lasers e amplificadores, e o LNLS gerou uma demanda para empresas de base tecnológica, a exemplo do que ocorre com os grandes laboratórios nos Estados Unidos, Europa e Japão. Dignos de nota são os esforços na área de tomografia por ressonância magnética: em São Carlos, o tomógrafo construído na USP já serve o hospital local; em Recife há projeto semelhante; com os cursos de física médica que estão surgindo, como o da UFRJ, tais esforços deverão adquirir maior evidência e poder de atração. Há também trabalhos em física aplicada ao monitoramento de poluição. No Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq, há registros de físicos atuando em áreas como: aspectos ambientais, novos materiais, informática, indústria eletro-eletrônica, telecomunicações, pesquisa espacial, energia, meteorologia e climatologia, e até em nutrição e alimentação.

Há esforços da Fapesp para aumentar a participação de cientistas na indústria através de programas de fixação de doutores nas empresas, de linhas de apoio a pequenas e médias empresas de base tecnológica, e de estímulo à criação de incubadoras de empresas e parques tecnológicos. Outras fundações estaduais, como a Faperj, têm feito esforços semelhantes, em menor escala. Como resultado, das 16 patentes registradas através da Fapesp em 2000, três foram de físicos, e estima-se que os físicos representem 10% dos participantes nos seus projetos para pequenas empresas. Apesar disso, o número de exemplos de física aplicada à tecnologia é bem inferior ao que a comunidade de físicos poderia produzir, caso houvesse uma política industrial no país voltada para essa finalidade. Ao lado dos casos de sucesso mencionados, houve também experiências que não realizaram seu potencial, como a da microeletrônica, não por falta de competência científico-tecnológica, mas por falta de uma política bem articulada para enfrentar empresas estrangeiras interessadas em eliminar a concorrência a qualquer custo, prática bem ilustrada pela concorrente canadense da Embraer em episódio recente. Em áreas como a de semicondutores, cruciais para os circuitos integrados, há muito pouco de física aplicada no País, a despeito de existirem algumas máquinas sofisticadas para crescimento de cristais (os MBE's); em mag-

netismo o quadro se repete, a soma dessas duas deficiências contribuindo para comprometer as chances brasileiras de embarcar na aventura da nanotecnologia; em plasmas, estamos apenas engatinhando. Há muita competência científica e tecnológica instalada no País e é preciso colocá-la a serviço da sociedade o quanto antes.

O sistema onde atuam os físicos brasileiros é constituído, principalmente, por universidades e centros de pesquisa que interagem com vários elementos. Em primeiro lugar, as diversas unidades de Física das universidades são alimentadas de alunos pelo sistema de segundo grau. A formação desses alunos, a pesquisa, a administração universitária e as atividades de extensão são as tarefas do físico nas universidades. Centros de pesquisa fora da universidades também realizam algumas dessas tarefas. Para todas essas atividades, o sistema conta com dotações financeiras provenientes de diversos órgãos de financiamento governamentais: Finep e CNPq, do MCT; Capes, do MEC; e diversas fundações estaduais de amparo à pesquisa (Fap's). Instituições privadas contam, além disso, com recursos financeiros provenientes das mensalidades dos seus estudantes. As atividades do sistema também se beneficiam do apoio dado por várias sociedades científicas: ABC, SBPC, SBF etc. O sistema forma novos físicos que, em sua maioria, retornam a ele, empregados como professores e pesquisadores. Apenas cerca de 2% dos físicos vão para o sistema industrial e de serviços do País. Essa pequena percentagem deve-se à ausência de uma política industrial que vise a conquista de mercados hoje ocupados por firmas estrangeiras e à crença ingênua de que os países avançados nos exportarão tecnologia de ponta que nos tornará competitivos. O sistema influi indiretamente no mercado por meio dos que nele atuam após receber formação em física no sistema universitário: os engenheiros, químicos, geólogos e outros profissionais que, em sua formação, cursaram Física como disciplina de serviço. Finalmente, o sistema de atividades em Física interage com outros sistemas universitários e científicos no Brasil e no mundo. É importante notar que o sistema cresce a uma taxa de 7% ao ano, enquanto a população brasileira cresce 1,8% ao ano; e que ele é responsável por cerca de 1,5% das publicações no "Physical Review", enquanto o PIB do país é 1% do mundial.

## **PERSPECTIVAS PARA A FÍSICA BRASILEIRA**

*...querendo-a aproveitar, dar-se-á nela tudo...*

*Pero Vaz de Caminha*

Na avaliação das perspectivas de desenvolvimento para os próximos dez anos não faremos previsões sobre que áreas e subáreas, das que conside-

ramos até agora, são mais ou menos promissoras. Isso porque todas elas já passaram pelos crivos avaliatórios de décadas, ou mesmo séculos e, principalmente, porque formam um todo mínimo, no qual as partes se influenciam e se favorecem mutuamente. A experiência mostra que a tentativa de fazer boa Física em apenas uma área, em detrimento das outras, não é bem sucedida. A ênfase eventual em alguma área deve ser examinada caso a caso a cada momento. A experiência também mostra o fracasso em se tentar desenvolver tecnologias de ponta sem o desenvolvimento paralelo da base científica.

Nos últimos anos, os físicos brasileiros procuraram equiparar-se nas atividades acadêmicas aos padrões de produção da melhor Física mundial. Concentraram-se na publicação de artigos científicos nos melhores periódicos do mundo, na formação de mestres e doutores em nosso país e em assimilar técnicas de física experimental e teórica dos países mais desenvolvidos em física. Essa fase pode ser considerada encerrada com sucesso, após uma evolução espantosamente rápida. Basta lembrar que o modestíssimo número de 200 doutores em física que tínhamos em 1970 estava multiplicado por 12 em 1998, ou que em um período de três anos, de 1995 a 1997, aumentamos em 45% o número de publicações no atualmente mais prestigioso grupo de periódicos do mundo. Cumpre agora perguntar em que área da Física somos reconhecidos como referência mundial, ou que periódico brasileiro em Física é mundialmente conhecido, lido e prestigiado, ou ainda, que tecnologia sustentada pela nossa física nos torna imbatíveis no mercado internacional. Com essas perguntas em mente podemos traçar duas perspectivas de desenvolvimento da Física brasileira nos próximos dez anos.

A primeira perspectiva seria de um desenvolvimento nos moldes dos anos anteriores. Se o financiamento da Física brasileira voltar aos melhores momentos dos últimos 40 anos, podemos prever que nessa perspectiva estaremos publicando mais e melhores artigos em periódicos de prestígio internacional, estaremos formando doutores em maior número e capacitação, e nossa física estará dominando mais técnicas há tempo criadas e dominadas nos países mais avançados. Se nos basearmos em exemplos de outros países, podemos prever que esse tipo de evolução tenderá a uma estagnação, talvez não nos próximos dez anos, mas não em muito mais do que isso.

A segunda perspectiva seria a consequência do planejamento de um salto de qualidade para nossa Física na próxima década. Poderemos manter nossa capacitação acadêmica em publicar e contribuir com competência à Física gerada nos países centrais e, ao mesmo tempo, aventurarmo-nos em gerar uma física mais independente, de excelência e originalidade reconhecidas mundialmente, e impacto sócio-econômico positivo em nossa nação. Se tomarmos o número e a qualidade da produção da nossa comunidade de física experimental e teórica em, por exemplo, matéria condensada, pode-

mos afirmar que estamos prontos para realizar um salto de qualidade na física brasileira. Para isso é necessário que haja aumento e regularidade nos investimentos em física, e que o planejamento da nossa física para os próximos dez anos seja acompanhado de políticas educacional, tecnológico-industrial e de conquista de mercados mais arrojadas.

Na questão da política educacional, em primeiro lugar temos o problema da captação dos jovens talentos em Física. Até o momento, nossa atitude diante do grande número de jovens no Brasil com imenso talento para Física, que certamente existem, tem sido de um modo geral a de coletar os sobreviventes do processo de exclusão educacional e não o de cultivar os talentos ainda em semente. Se a maior revolução na história da humanidade foi a passagem do sistema de coleta e caça ao de agropecuária, talvez o maior salto de produtividade na Física brasileira ocorra no momento em que se conseguir formar jovens talentos para a física ainda no ensino médio. Essa nova atitude implica em prestigiar a criação de uma literatura em Física em nossa língua, nos mais variados níveis de especialização e profundidade: de livros de popularização científica a livros de texto de 2º e 3º graus. Também é indispensável um esforço de melhoria dos salários dos físicos pois, por experiência, sabemos que muitos jovens talentos que talvez viessem a se tornar bons físicos brasileiros procuram outras profissões, já que é real a perspectiva de que a formação longa, e das mais árduas, exigida em Física termine levando a uma profissão de remuneração insuficiente para o seu pleno exercício. A perspectiva de que jovens de talento em bom número sacrificarão a possibilidade de constituir família e levar uma vida razoavelmente segura e confortável para dedicar-se à Física é por demais romântica, para dizer o mínimo.

A questão educacional está muito conectada com a questão tecnológica e industrial. A Física brasileira formou, entre 1996 e 1998, uma média de 140 a 150 doutores por ano. O setor acadêmico, formado por universidades e centros de pesquisa, tem cerca de 3.000 colocações para físicos; isso significa que para repor os que se aposentam teríamos que injetar algo da ordem de cem físicos por ano na academia. No entanto, há algum tempo não ocorre abertura de vagas nas universidades federais, responsáveis pela maior parte das colocações. Mesmo que ocorresse, teríamos um excedente de pelo menos 50 físicos por ano a ser absorvido pelo setor produtivo, seja como físicos, seja em atividades correlatas. Dada a falta de oferta no setor acadêmico, o número a ser absorvido é bem maior.

O que descrevemos acima poderia ser interpretado como um problema para os físicos apenas. Na verdade, é um problema para o País e para todo o seu conjunto de cientistas e engenheiros. A incapacidade de incorporar pesquisa e desenvolvimento (P&D) ao setor industrial brasileiro se expli-



cava, até os anos 70, pela insuficiência de cientistas e engenheiros qualificados no País. Nossas universidades começaram a existir, de fato, na década de 30. Só no final dos anos 60, e durante a década de 70, se estabeleceram grupos de pesquisa de ponta nas áreas mais tecnológicas (a Coope, da UFRJ, e o CTC da PUC do Rio de Janeiro são exemplos notáveis), bem como grupos experimentais fortes em física e química. Infelizmente, apesar do enorme progresso acadêmico desses grupos, os recursos humanos qualificados necessários jamais chegaram ao setor industrial em número suficiente para reverter o quadro. Tal quadro somente poderá ser alterado com a adoção de uma política industrial que incentive a produção local de tecnologia e onere a sua importação. Devido à política seguida pelo País ao longo de toda a sua história, nossa indústria prescinde de cientistas e também de engenheiros pesquisadores. A política correta de criar centros acadêmicos de primeira linha para formar cientistas e engenheiros não foi acompanhada de uma política industrial que favorecesse sua absorção por empresas do setor produtivo. Hoje, tem-se uma comunidade científico-tecnológica de competência reconhecida por padrões internacionais, ansiosa por colaborar no esforço de desenvolvimento, mas sem dispor dos meios para fazê-lo. Não se encontrou ainda a fórmula para agregar P&D, e as vantagens delas decorrentes, às nossas empresas.

Ainda mais dramático é o fato de a estagnação dos anos 80 e as dificuldades da época atual terem posto essa comunidade em risco, devido à falta de investimento e à conseqüente obsolescência de sua infra-estrutura. Criou-se um complexo sofisticado para suprir uma lacuna; como o trabalho ficou incompleto, deixa-se a parte já pronta (e funcionando bem) à sua própria sorte e, não raro, culpa-se essa parte por algo que não é de sua responsabilidade. No entanto, nos poucos casos em que a introdução de P&D no setor industrial foi bem articulada (prospecção de petróleo em águas profundas do Cenpes da Petrobras, grãos nitrogenados da Embrapa, programa do álcool, aviões da Embraer e os exemplos da física aplicada já mencionados), ela atingiu pleno êxito.

Para que se tenha uma idéia dos números envolvidos, o País tinha 156 milhões de habitantes em 1995, dos quais 74 milhões constituíam a força de trabalho, segundo o IBGE. Desses, segundo dados coletados por Carlos Henrique de Brito Cruz, físico da Unicamp, 83 mil eram cientistas e engenheiros atuando em P&D, sendo que cerca de 57 mil nas universidades, 12 mil em institutos de pesquisa, e apenas 13 mil em empresas. Enquanto isso, nos Estados Unidos, com cerca de 250 milhões de habitantes, há quase um milhão de cientistas e engenheiros, dos quais cerca de 80% trabalhando em empresas (na Coréia do Sul, cerca de 60 mil trabalham em empresas, 29 mil em universidades e 16 mil em institutos).

Não há dúvida de que na sociedade tecnológica moderna, a participação dos físicos no setor produtivo tem crescido muito. Entre os fatores que contribuem para esse crescimento estão: i) a evolução da capacidade computacional, com ampla utilização de computadores de alto desempenho; ii) a evolução das técnicas experimentais, que hoje incorporam lasers, fibras óticas e semicondutores, responsáveis pela revolução da opto e microeletrônica; iii) a diminuição do tempo entre a descoberta científica e sua aplicação tecnológica; iv) a globalização da economia, que alterou os meios de produção de modo a incorporar tecnologia para o aumento da competitividade e, por isso, hoje demanda mais e melhores cientistas e engenheiros, com os físicos ocupando papel de destaque.

Mais especificamente, físicos teóricos têm amplo domínio de técnicas de modelagem, simulação numérica e resolução de equações diferenciais (inclusive não lineares), cada vez mais requeridas pela indústria. Petróleo, energia, climatologia, otimização e controle são áreas em que tais conhecimentos se traduzem em enorme economia. Físicos experimentais atuam em opto e microeletrônica, e em magnetismo; dominam técnicas de interação radiação-matéria (raios X, lasers, ressonância magnética) que influenciam desde a medicina, passando pela conservação de alimentos, até a análise de estruturas e materiais; e dão os primeiros passos em nano-engenharia, além de atuarem na pesquisa de novos materiais, em metrologia e no monitoramento das condições ambientais e ecológicas. Em casos como o da energia nuclear, é certo que os físicos desempenharão papel importante para a solução do problema da reciclagem e reaproveitamento de dejetos nucleares.

É, portanto, preciso promover uma mudança dramática na forma como o país tem-se relacionado com Ciência e Tecnologia. É preciso incutir, no setor industrial brasileiro, o hábito da inovação tecnológica, para que estejamos preparados para o novo milênio, em que C&T terão um papel dominante. Incorporar C&T à produção, utilizando P&D, é tarefa desempenhada por empresas em todos os países industrializados. O governo americano, por exemplo, apenas subsidia o desenvolvimento tecnológico ao firmar com empresas contratos que se destinam a viabilizar avanços tecnológicos (a indústria aero-espacial é um bom exemplo).

No Brasil, tem-se um número de cientistas e engenheiros nas universidades e nos institutos da ordem de 70 mil. Nos Estados Unidos há cerca de 200 mil, o que é razoável, dada a diferença de população. No entanto, enquanto nossas empresas contratam 13 mil cientistas e engenheiros, as americanas contratam mais de 800 mil. Diante desse quadro, o País necessita urgentemente reformular sua política industrial para, após uma discussão que envolva cientistas, engenheiros, empresários e governo, definir temas estratégicos, gargalos e nichos tecnológicos, com vistas a obter vantagens com-

parativas no cenário internacional. Isso deve ser acompanhado de um esforço de qualificação profissional na indústria, que incorpore a ela os doutores que irão modificá-la. Eles se encarregarão de manter um diálogo com as universidades, sem desviá-las de suas funções de formar recursos humanos e gerar conhecimento. Se isso ocorrer, talvez nossas exportações voltem a crescer, já que o baixo valor agregado dos nossos produtos de hoje impede que nos beneficiemos dos mecanismos tradicionais de estímulo, num mercado global onde os bens tecnológicos tem a primazia.

Criando condições para fixar cientistas e engenheiros dedicados a P&D nas empresas, dando-lhes meios para estarem em permanente contato com as universidades e centros de pesquisa, contratando bens e serviços tecnológicos ao parque nacional qualificado, o governo estará dando passos importantes para modernizar nossa indústria e torná-la mais competitiva. Nesse processo, a Física brasileira tem assegurada sua contribuição para o desenvolvimento nacional, como formadora de recursos humanos de alta qualificação e geradora de conhecimentos científicos e tecnológicos.

### **Os Autores**

CARLOS ALBERTO ARAGÃO DE CARVALHO FILHO (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor pela Universidade de Princeton (EUA) e professor na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

ALAOR SILVÉRIO CHAVES. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Física pela University of Southern California (EUA) e professor na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

HUMBERTO SIQUEIRA BRANDI. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Física pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) e professor na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

LUIZ NUNES DE OLIVEIRA. É membro da Academia Brasileira de Ciências, doutor pela Universidade de Cornell (EUA) e professor no Instituto de Física e Química de São Carlos (USP).

MARCUS VENICIUS COUGO PINTO. É doutor pela Universidade de Rochester e professor no Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

PAULO MURILO CASTRO DE OLIVEIRA. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Física pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e professor no Instituto de Física e Química de São Carlos (USP).

SERGIO MACHADO REZENDE. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Física pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) e professor na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).



# Área de Ciências Humanas

## As Ciências Sociais no Brasil<sup>1</sup>

ELISA PEREIRA REIS  
PAULO DE GÓES FILHO

### INTRODUÇÃO

As Ciências Humanas se distinguem das demais áreas do conhecimento por várias características. A primeira, é que nelas o sujeito e o objeto do conhecimento coincidem, o que coloca problemas epistemológicos que não existem nas demais ciências, tornando a objetividade difícil e a imparcialidade problemática. São questões difíceis mas não insolúveis: trata-se de reduzir ou lidar com a parcialidade, explicitando-a de forma clara e precisa. O eixo da produção nas ciências humanas gira em grande parte em torno da própria exploração dos modos pelos quais o conhecimento é afetado por esta coincidência (Janine Ribeiro, 2000).

A par desta característica, o progresso nas Ciências Humanas não opera da mesma forma que nas demais áreas: é menos linear e mesmo as grandes transformações de paradigmas se fazem de modo distinto. “O *fundamental*, pois, é admitir que: 1) nas humanas o sujeito e o objeto estão vinculados a ponto de isso perturbar o conhecimento produzido; 2) mas essa vinculação, que torna problemático o conhecimento, é justamente o principal produto de conhecimento das humanas; 3) o vínculo é essencialmente do conhecimento com a ação, isto é, a posição do sujeito enquanto agente condiciona-o enquanto *cognoscente*” (Janine Ribeiro, 2000, p.2).

Uma outra característica das Ciências Humanas é o fato delas usarem sobretudo a linguagem natural. Enquanto os demais campos do conhecimento científico foram se constituindo na medida em que formalizavam sua linguagem, especialmente pelo recurso às matemáticas, nas ciências humanas predomina o uso da linguagem natural, embora empregada com rigor e precisão em cada uma das disciplinas

---

<sup>1</sup> O presente trabalho é uma atualização do texto “Social Sciences in Brazil” publicado pela Academia Brasileira de Ciências (ABC) em “Science in Brazil: an Overview”, de 1999, elaborado por Elisa Pereira e Paulo de Góes Filho. A introdução incorpora as contribuições de Simon Schwartzman e Renato Janine Ribeiro ao Workshop “No Caminho do Futuro”, realizado em Brasília, em fevereiro de 2001.

Além das ciências sociais “clássicas” – a Sociologia, a Antropologia e a Ciência Política – esse campo inclui outras disciplinas que, hoje, reúnem o maior número dos estudantes de ensino superior do País (cerca de 16%) em administração, direito, pedagogia, educação, demografia, comunicação, serviço social, número que aumenta se considerarmos as humanidades: história, geografia, literatura, línguas e filosofia. Essas faculdades formam o grande contingente do ensino superior brasileiro (65%), voltado para a educação geral, embora não seja reconhecido como tal, oculto como está sob a aparência formal de cursos especializados. Uma política educacional de longo prazo coerente não poderá deixar de considerar a necessidade de prover educação geral, com conteúdo e forma apropriados, para esta grande massa de estudantes dos cursos de ciências sociais aplicadas, que são a grande maioria dos estudantes de nível superior.

Hoje, as grandes fronteiras do trabalho interdisciplinar nas ciências sociais estão na interseção entre a economia e as ciências sociais, por um lado e destas com o direito, a administração e as humanidades, por outro. Cada vez mais, economistas e juristas necessitam conhecimentos mais sólidos sobre instituições, culturas e redes sociais; a administração se torna cada vez mais “humana”, graças ao desenvolvimento de novas tecnologias gerenciais e de informação. Por sua vez, os cientistas sociais buscam os instrumentos mais precisos e práticos dos economistas e administradores e as contribuições das tradições humanística e literária (Schwartzman, 2000).

Dessas disciplinas, a economia detém o maior grau de autonomia, particularmente na pesquisa, e hoje seu campo já não se limita às linhas tradicionais de produção econômica e mercados, mas inclui incursões cada vez maiores em temas como educação, pobreza, desigualdades sociais, justiça, planejamento urbano, entre outros. No caso do direito, uma disciplina que antecedeu as ciências sociais clássicas, o Brasil tem pouca pesquisa nas faculdades, que preservam uma tradição letrada, especulativa e de “direito positivo”, com pouco contato com as análises empíricas, estudos comparativos e conhecimento mais sistemático sobre diferentes culturas, práticas e formas de organização do sistema jurídico e suas implicações.

Para Schwartzman, a maioria das disciplinas sociais aplicadas não tem a mesma tradição de trabalho e consistência interna que a economia e as ciências sociais clássicas, e por isto dependem muito de pesquisadores formados nessas últimas disciplinas para seu desenvolvimento. Grande parte das contribuições teóricas e das pesquisas mais importantes em áreas como educação, teoria organizacional, administração e comunicação tem sido feita aqui por cientistas políticos, antropólogos e sociólogos e, de maneira crescente, por economistas.

Para Janine Ribeiro, nas ciências humanas e sociais, como em outras

áreas, ainda persistem resistências à pesquisa aplicada. Parte considerável da comunidade rejeita essa possibilidade por considerá-la uma ameaça à liberdade do investigador e à pesquisa pura. Apesar disso, muitos cientistas sociais vêm trabalhando de forma crescente em áreas aplicadas, porque é sobretudo nelas que se dá a relação mais forte entre o conhecimento e os grandes temas da realidade nacional. Um exemplo é a área da educação, onde ainda é pouco o que se conhece sobre o fracasso escolar, o analfabetismo funcional, a obsolescência dos currículos, entre outros temas. Os cientistas sociais só recentemente passaram a se preocupar sistematicamente com o tema, que está ao encargo de pedagogos, cuja formação em pesquisa e teoria social freqüentemente deixa a desejar; ou de economistas, que analisam as questões fazendo uso de instrumentos estatísticos e quantitativos poderosos, mas limitados geralmente a umas poucas variáveis<sup>2</sup>.

A área de administração é a que tem mais alunos em cursos superiores no Brasil (12% das matrículas). A oferta de cursos é maior, principalmente em cursos noturnos em escolas privadas. Como o nível é geralmente baixo, esses cursos não requerem muita formação anterior, são fáceis de seguir e o mercado os valoriza. Entretanto, o ensino adequado de administração é bastante especializado, o que requer pesquisas e conhecimentos aprofundados de teoria organizacional, psicologia de grupo, sistemas complexos de planejamento e gerenciamento, microeconomia, entre outras; áreas nas quais ainda há pouca pesquisa no Brasil. Nas boas escolas do exterior quem faz o trabalho de pesquisa são os economistas e os cientistas sociais, enquanto os especialistas em administração se dedicam a consultorias e trabalhos mais aplicados.

Nas ciências humanas, boa parte da investigação, mesmo aquela que não tem na aplicação seu objetivo primordial, pode resultar numa nova consciência social, política e humana, o que depende diretamente dos instrumentos de divulgação. A difusão do conhecimento gerado para a sociedade como um todo merece reflexão. O fato de se dirigir ao público não significa que essa relação seja direta. Ao contrário, tal relação tem uma série de mediadores, particularmente a mídia. Vista a partir de uma ótica do senso comum, a ciência política sobretudo é pensada como a que permite entender o funcionamento do Estado e, em especial, as opções do eleitorado. A sociologia contribuiria para a formação de uma “boa sociedade”, mas de uma perspectiva na qual o social é percebido ou como o alvo de políticas públicas ou

---

<sup>2</sup> Entender como e por que as crianças aprendem ou não; as diferentes características dos sistemas educacionais; as alternativas e dilemas da descentralização; o papel do setor público e do setor privado; o papel da cultura na aquisição de conhecimentos básicos; as técnicas de alfabetização e seus limites; o potencial e os problemas das novas tecnologias educacionais; as alternativas, alcances e limitações dos processos de avaliação de desempenho; as relações entre conhecimento, competência e mercado de trabalho; os problemas e alternativas para a formação do professor do ensino básico; todos estes são temas de grande importância para o País.

como o objeto da ação de ONG's bem intencionadas. Finalmente, a antropologia trataria de questões relacionadas a grupos minoritários ou a culturas distintas da cultura dominante. Entendida a partir dessas percepções do senso comum, a aplicação prática das ciências humanas torna-se fragmentada, não é compreendida em sua dimensão política mais ampla e limita-se apenas em gerar uma consciência crítica sobre questões que afetam a todos, ignorando, assim, que suas contribuições podem não só prover subsídios para a formulação de políticas públicas, como contribuir para a compreensão de processos sociais passíveis de transformação.

O quadro de aplicações para as ciências sociais é, portanto, muito mais amplo e complexo. Ele inclui, além da educação, do direito e da administração, toda a área da saúde pública, do ordenamento urbano, da mobilidade social, da pobreza, da marginalidade social, da demografia, do emprego, das transformações dos sistemas de valores, da velhice, da previdência social, da violência, entre outros. Hoje, entre os maiores centros de pesquisa social no Brasil, estão o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), não somente pelos trabalhos que realizam na área da economia e da demografia, mas, de forma crescente, na área da educação, do emprego, da previdência, do trabalho informal, da pobreza e da justiça social.

Uma das questões básicas para as ciências sociais é a da cooperação internacional. A dimensão internacional e cosmopolita das ciências sociais não se dá de forma tão direta e simples quanto nas ciências naturais, mas não é menos importante e deve ser estimulada. Para Janine Ribeiro, embora não estejamos necessariamente inferiorizados em relação à pesquisa que se desenvolve no exterior, é fundamental, além de manter a cooperação internacional, aumentar a interlocução entre os pesquisadores nacionais de comprovada excelência.

Para o autor, outro ponto relevante diz respeito ao uso do português, pouco conhecido no exterior, e a insistente recomendação para que se publique em inglês. É preciso matizar essa sugestão, já que parte de nossas publicações no exterior acaba se dando em veículos confinados à produção sobre o Brasil. São necessárias estratégias que superem este confinamento.

Também merece destaque a questão do relacionamento entre as ciências sociais e as ciências naturais. No passado, os cientistas tendiam a acreditar e defender de forma ingênua a virtude inata da ciência e do conhecimento racional, acreditando que a essência de qualquer política científica deveria consistir, simplesmente, em dar mais recursos para que eles pudessem levar adiante suas idéias e seus projetos. Hoje vivemos uma situação paradoxal; por um lado, o poder e a importância dos conhecimentos científicos e tecnológicos são cada vez maiores; por outro, há uma preocupação crescen-



te com os possíveis efeitos negativos desta ciência que cresce como que sem limites, com as formas alternativas de organização do trabalho científico, e com as fronteiras entre o “racional” e o “social”. As sociedades já não concedem aos cientistas a autonomia que eles sempre contaram em obter, em nome da razão. A maior reflexividade sobre o alcance, as limitações e as responsabilidades do trabalho científico ainda é tênue em nosso meio. A área dos estudos sociais da ciência é interdisciplinar por excelência, ponto de encontro entre cientistas naturais, epistemólogos, filósofos, sociólogos e antropólogos, e merece lugar importante na elaboração de um projeto de longo prazo para a ciência e a tecnologia brasileiras.

## INSTITUCIONALIZAÇÃO

A institucionalização das ciências sociais no Brasil teve início na terceira e quarta décadas do século XX, como parte do esforço de construção de um moderno estado-nação (Miceli, 1995; Peirano, 1991). Neste período, foram criados os primeiros cursos de graduação na área de ciências sociais. Esse processo permitiu que notáveis trabalhos sobre a sociedade brasileira, disponíveis desde as primeiras décadas do século, como os de Gilberto Freyre e Oliveira Vianna, entre outros, alcançassem um fórum mais amplo de debate.

Fossem reflexões críticas sobre o processo histórico brasileiro, fossem tentativas de identificação de alternativas de desenvolvimento, diferentes disciplinas aportaram contribuições acadêmicas importantes e estabeleceram marcos fundamentais para a futura pesquisa sistemática. Entretanto, somente nas três últimas décadas, após a disseminação e consolidação dos programas de pós-graduação em ciências sociais no País, tornou-se possível o surgimento de uma comunidade significativa de pesquisadores na área.

Devido à limitação de tempo para a coleta de informações relacionadas a outros campos das ciências sociais e humanas, tais como história, geografia e psicologia, o presente texto aborda somente as áreas de sociologia, antropologia e ciência política.<sup>3</sup>

## HISTÓRICO

Até a década de trinta, as ciências sociais não constituíam uma área de especialização acadêmica ou de treinamento profissional de docentes no País. Algumas disciplinas, como sociologia, eram ministradas em escolas de direi-

---

<sup>3</sup> No caso da economia a importância dessa disciplina no quadro das ciências sociais brasileiras requer seu tratamento em separado, o que só será possível em outra oportunidade.

to, enquanto outras, como antropologia, integravam o currículo das escolas de medicina. Todavia, intelectuais independentes, preocupados com a realidade social brasileira, produziram diversos estudos, que se tornaram marcos das ciências sociais no Brasil.

Em 1933, a Escola Livre de Sociologia e Política, fundada em São Paulo, tornou-se a primeira instituição a oferecer um bacharelado na área de sociologia e política. Seu corpo docente incorporava brasileiros e estrangeiros, como os professores americanos Donald Pierson e H. Lowie, que introduziram o uso dos métodos quantitativos na pesquisa social brasileira.

A segunda instituição a oferecer um diploma de bacharelado na área foi a Escola de Filosofia, Ciências e Letras, da Universidade de São Paulo (1934). Diversos professores estrangeiros, como Roger Bastide e Lévi-Strauss, foram convidados para integrar o corpo docente desta escola, e logo uma segunda geração de pesquisadores era formada.

No mesmo período, foi fundada no Rio de Janeiro a Universidade do Distrito Federal (1935). Posteriormente foi criada a Faculdade Nacional de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade do Brasil, que também contribuiu para a difusão das ciências sociais no País. (Nogueira, 1978, Schwartzman et alli, 2000).

As duas décadas seguintes testemunharam o surgimento de diversas outras escolas de Filosofia, Ciências e Letras por todo o Brasil, que concediam a licenciatura em Ciências Sociais, tendo por objetivo o treinamento dos professores da rede escolar. Os anos compreendidos entre 1940 e 1960 foram marcados por uma expansão expressiva do ensino superior, particularmente na área de ciências sociais.

Em 1940, havia 62 cursos em Escolas de Filosofia, Ciências e Letras, nos quais 1.703 alunos estavam matriculados. Em 1959, o número de cursos quase se multiplicara por dez (590), enquanto o volume de matrículas obtivera um incremento ainda maior (18.712).

Apesar da maior parte destas escolas originalmente não constituir centros de pesquisa, em algumas delas uma nova geração de cientistas sociais começou a desenvolver uma série de estudos que transformariam profundamente as características da produção intelectual nas ciências sociais brasileira. Ao invés de trabalhos sobre aspectos genéricos da sociedade e cultura nacional, estes cientistas sociais realizaram análises cuidadosas, baseadas em metodologia rigorosa e trabalho exaustivo de coleta de dados, abordando aspectos específicos da sociedade. Tais estudos, desenvolvidos como requisito para a obtenção do bacharelado, estabeleceram um novo marco para a pesquisa social no Brasil.

Além destes pesquisadores, formados principalmente em São Paulo, ao longo das décadas de 40 e 50, muitos cientistas sociais foram para o exterior para estudar sociologia, antropologia e ciência política. Esse núme-

ro torna-se expressivo na década de 60 e no início da década de 70, quando o intercâmbio se intensifica. Logo, desenvolveu-se o núcleo de uma comunidade científica incipiente na área, abrangendo indivíduos com diferentes formações, especialidades e áreas de interesse.

Durante o mesmo período, foram estabelecidos vários centros de pesquisa nas áreas de ciências sociais. Exemplos destes são o Centro Brasileiro de Pesquisas Educacionais (CBPE), o Instituto Superior de Estudos Brasileiros (ISEB), o Centro Latino-Americano de Pesquisas em Ciências Sociais (CLACSO), o Instituto de Ciências Sociais da Universidade do Brasil, no Rio de Janeiro e o Instituto Joaquim Nabuco, em Pernambuco.

A demanda por uma mão-de-obra, associada ao prestígio atribuído ao diploma, contribuiu para a expansão do ensino superior no País. Em 1970, já eram 961 os cursos em Escolas de Filosofia, Ciências e Artes, com 128.402 alunos matriculados.

A mudança maior ocorreu, entretanto, na década de 70, com a criação dos cursos de pós-graduação (mestrados e doutorados), modelados a partir do sistema norte-americano. Este sistema propiciou o treinamento pós-graduado de cientistas sociais no País, dando continuidade ao trabalho iniciado pela elite intelectual pioneira, responsável pelo estabelecimento de pesquisas sociais endógenas. Somou-se a isto o apoio crescente do Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia, através de agências tais como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e, a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), além da atuação do Ministério da Educação através da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Também de grande importância foi a contribuição de fundações internacionais, que desempenharam papel importante na consolidação das ciências sociais no País. Não se pode deixar de mencionar o papel da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) que, criada em 1960, passou a funcionar efetivamente em 1962, sendo seguida por outras fundações estaduais de amparo à pesquisa, entre as quais são dignas de referência a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs - 1964), Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj - 1980), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig - 1985), e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe - 1989).

Em 1985, já eram 36.614 os profissionais formados em ciências sociais, se considerarmos apenas os graduados nas áreas de arqueologia, antropologia, sociologia e ciência política. Tal número equivalia a 1,17% do estoque total de profissionais brasileiros.

Durante os últimos 15 anos, a pesquisa social no Brasil tem sido desenvolvida basicamente nos programas de pós-graduação das universidades públicas e por alguns centros independentes de pesquisa. Dentre estes, des-

tacam-se o Cebrap (Centro Brasileiro de Análise e Pesquisas), o Idesp (Instituto de Estudos Econômicos, Sociais e Políticos de São Paulo), e o Iuperj (Instituto Universitário de Pesquisas do Rio de Janeiro), o Cedec (Centro de Estudos de Cultura Contemporânea) e as Fundações João Pinheiro e Joaquim Nabuco. Algumas universidades privadas de maior tradição participam igualmente desse esforço.

Também é importante registrar que boa parte dos recursos humanos formados nos programas de pós-graduação foi absorvida não apenas pelas universidades como também por agências governamentais, empresas de consultoria e, mais recentemente, pelas Ong's.

## **PERFIL DAS CIÊNCIAS SOCIAIS NO BRASIL**

A pesquisa e as publicações na área de ciências sociais no Brasil são, quase sempre, produto dos institutos de pesquisa e dos programas de pós-graduação em sociologia, antropologia social e ciência política. A produção científica nacional nestas áreas tem crescido continuamente, particularmente nas duas últimas décadas. Dois aspectos fundamentais caracterizam este processo: por um lado, tem havido uma significativa diversificação e especialização no interior das ciências sociais. Por outro, tem ocorrido também um processo contínuo de integração das especialidades através de diversas redes interdisciplinares. Esse processo tem se beneficiado da existência de associações científicas. Particularmente importante nesse sentido tem sido a atuação da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais (Anpocs), mas também merecem destaque associações científicas organizadas em torno de temáticas específicas tais como, a Associação Brasileira de Estudos do Trabalho (Abet), a Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural (Sober), a Associação de Estudos Populacionais (Abep), a Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva (Abrasco) e a Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional (Anpur).

Além da contribuição para o desenvolvimento do conhecimento científico nas áreas de sociologia, antropologia e ciência política, o trabalho dos cientistas sociais teve impacto digno de nota no surgimento de outras disciplinas tais como saúde coletiva e medicina social, educação, e planejamento urbano e regional.

As disciplinas das ciências sociais também guardam relações próximas com áreas vizinhas tais como história, geografia, lingüística e demografia, áreas não consideradas nesse documento.

Segundo os dados do Diretório de Pesquisas do CNPq, a pesquisa

sociológica no Brasil é desenvolvida por 187 grupos, envolve 1.002 pesquisadores e 946 estudantes e técnicos. A região Sudeste concentra 37,5% desses grupos, o Nordeste 26,2%, o Sul 25,1%, o Centro-Oeste 7,5%, e a região Norte 3,7%. A distribuição regional dos pesquisadores revela uma maior concentração destes no eixo Sudeste/Sul e no Distrito Federal, que reúnem 68% do total. A média nacional de pesquisadores por grupo é de cinco, excetuando-se a região Norte onde em média esses grupos contam com quatro pesquisadores.

Embora alguns destes grupos atuem em centros dedicados exclusivamente à atividade de pesquisa, a maior parte encontra-se no sistema universitário, desenvolvendo simultaneamente atividades de ensino e pesquisa. Do total dos grupos de pesquisa, 51,3 % estão localizados em universidades federais, 14,4% em universidades estaduais e os restantes 34,3 % em universidades privadas ou em instituições dedicadas exclusivamente à pesquisa.

Cursos de pós-graduação, classificados pela Capes na área de Sociologia, são oferecidos em 30 centros acadêmicos, tanto públicos como privados. Destes, 15 estão no Sudeste, 6 no Nordeste, 5 no Sul, 3 no Centro-Oeste e 1 no Norte. Entre esses centros, 20 tem cursos de doutorado.

No que diz respeito ao financiamento, tomando como referência o ano de 1999, a área de sociologia recebeu 1,58% dos recursos destinados pelo CNPq ao fomento. Foram 743 bolsas no País (1,73% do total), 2 bolsas no exterior (0,37% das bolsas no exterior) e 62 auxílios à pesquisa (1,27% do total de auxílios). Ao todo, a área recebeu US\$ 3.346.043,10.

A pesquisa antropológica é desenvolvida por 113 grupos, envolvendo 703 pesquisadores e 609 alunos e técnicos. A região Sudeste abriga 39% desses grupos, a região Sul 16 %, a região Nordeste 17,7 %, a região Norte 14,1% e a região Centro-Oeste 13,2%. A concentração de pesquisadores nas regiões Sudeste, Sul e no Distrito Federal é de 68%. A pesquisa antropológica tem se desenvolvido em áreas e temáticas muito diversificadas. Assim, além de manter e renovar a tradição clássica de estudos etnológicos de sociedades tribais, os antropólogos do nosso País têm trabalhado, por exemplo, com sociedades camponesas e antropologia urbana, abrindo linhas de pesquisa inovadoras, com repercussão na antropologia internacional.

Cursos de pós-graduação em antropologia são oferecidos por 12 programas em universidades situadas em sete estados e no Distrito Federal. Dentre esses programas, sete oferecem cursos de doutorado.

No plano do financiamento, em 1999 a área de antropologia recebeu 0,93% dos recursos destinados pelo CNPq ao fomento. Foram 382 bolsas no País (0,97% do total), 4 bolsas no exterior (0,49% das bolsas no exterior) e 46 auxílios à pesquisa (0,89% dos auxílios). No total, a área recebeu o montante de US\$ 1.964.411,80.

A ciência política, a mais nova destas disciplinas no Brasil, é desenvolvida por 72 grupos, envolvendo 406 pesquisadores e 252 estudantes e técnicos. A região Sudeste concentra 52,7 % desses grupos, a região Sul 26,4 %, a região Centro-Oeste 8,3 %, a região Nordeste 7,0 % e a região Norte 5,6 %. A distribuição dos pesquisadores é igualmente desigual. É a seguinte a distribuição administrativa desses grupos : 41,7% estão localizados em universidades federais, 30,5 % em universidades estaduais e 12,5% em universidades privadas, particularmente em universidades católicas. Os demais grupos estão em instituições dedicadas basicamente à pesquisa. Cursos de pós-graduação em ciência política são oferecidos por dez programas, dos quais dois em Relações Internacionais, distribuídos por cinco estados e o Distrito Federal, dos quais quatro concedem o título de doutor.

Em termos de financiamento, em 1999 a área de ciência política recebeu 0,67% do total destinado pelo CNPq ao fomento. Foram 288 bolsas no país (0,72% do total), 5 bolsas no exterior (0,86% das bolsas no exterior) e 17 auxílios à pesquisa (0,24% do total de auxílios). O montante global destinado à área pelo CNPq foi de US\$ 1.426.073,00.

Os temas de investigação na área de ciências sociais são múltiplos, mas é possível identificar as principais áreas de produção acadêmica a partir das atividades que se desenvolvem nos Encontros Anuais da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais (Anpocs). Conforme decisão da Assembléia Geral da Anpocs, a partir de 2002 o Encontro Anual terá como formato básico de organização os Grupos de Trabalhos – GTs. Os novos GTs terão a duração de dois anos sendo que, após este período, será retomado o formato Seminário Temático. Além dos Grupos de Trabalho, poderão compor a programação do Encontro Anual as seguintes atividades: conferências, fóruns, mesas redondas, sessões de vídeo, exposições e, eventualmente, outras julgadas pertinentes. Têm prioridade atividades que abordem questões emergentes, ligadas às mudanças experimentadas pela sociedade contemporânea, bem como aquelas decorrentes dos desafios teórico-metodológicos com que se defrontam os cientistas sociais na atualidade. A organização das atividades da Anpocs permite uma visualização dos principais temas de pesquisa nas ciências sociais brasileiras.

O XXV Encontro Anual, realizado em 2001, contou com a participação de aproximadamente 900 participantes e um total de 774 inscritos. Foram realizadas quatro conferências, e um curso de Teoria Social, com aulas de “Teoria Antropológica, Teoria Política e Teoria Sociológica”.

As mesas redondas abordaram os seguintes temas: Política social, desigualdade e diferença: dimensões teóricas e práticas; Mimese: uma idéia para as ciências sociais; Novas perspectivas na análise social do meio ambiente; Tradições de pesquisa; Trabalho, sindicalismo e a nova questão social:

uma perspectiva internacional; Desafios da cidadania periférica: como articular desigualdade, diversidade e reconhecimento; A república brasileira: o estado da arte; Sociedade da informação; Sociologia das artes plásticas no Brasil; e Violência e segurança pública.

Em 2001, foram realizados também 24 seminários temáticos abrangendo, entre outras, as seguintes questões: ciências sociais e comunicação; a contribuição do método quantitativo para a análise de processos de estratificação e mobilidade social; movimentos migratórios; controles democráticos e responsabilidade pública; federalismo, instituições e políticas públicas no Brasil; transformações do Estado, gastos públicos e comportamento fiscal; partidos, eleições e representação política; memória e identidade; sexualidade, reprodução, parentesco; natureza e cultura; o capitalismo no Brasil; perspectivas disciplinares sobre os temas da diferença e da desigualdade; a questão metropolitana no Brasil; teoria social e sociedades pós-nacionais; trabalhadores, sindicatos e a nova questão social; e a inserção internacional do Brasil.

No que se refere à produção científica, a área de ciências sociais apresenta especificidades frente às demais áreas. Considerando o total de artigos publicados em periódicos indexados pelo ISI, nos últimos anos, a participação de artigos da área de ciências sociais, em nível mundial, é da ordem de 10 %, sendo no caso brasileiro de apenas 3%.

Os últimos dados disponíveis para a área de ciências sociais referem-se ao ano de 1995 e revelam que naquele ano foram produzidas 5.260 publicações, incluindo artigos e capítulos de livros dos quais 659 foram publicados no exterior. É perceptível a participação do Sudeste nesta distribuição.

	País	Exterior	Total
Brasil	4.601	659	5.260
Sudeste	2.965	443	3.408
Sudeste/Brasil	64,44%	67,22%	

Fonte CAPES, 1995

Apesar disso é digno de nota o fato de que nas três áreas consideradas “clássicas” houve uma redução, em números absolutos, do número de artigos publicados em periódicos estrangeiros.

## ALGUMAS ASSOCIAÇÕES IMPORTANTES

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM CIÊNCIAS SOCIAIS (ANPOCS): a associação foi fundada em 1977, como um fórum nacional dos centros de pesquisa e programas de pós-graduação em ciências sociais. Originalmente reunindo 14 centros, agrega hoje 61 instituições, por todo o País, nos campos de antropologia, ciência política e sociologia.

Para dar conta da multiplicidade de demandas da comunidade acadêmica, a Anpocs conta com diversos comitês assessores e grupos de trabalho com agendas específicas. A página virtual da sociedade é <http://www.anpocs.org.br>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ANTROPOLOGIA (ABA): A primeira reunião da ABA ocorreu em 1953, no Museu Nacional. Sua fundação oficial porém só ocorreu dois anos depois, em Salvador. Atualmente reúne cerca de 800 antropólogos.

O endereço virtual da entidade é: <http://www.unicamp.br/aba>.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SOCIOLOGIA (SBS): Criada na década de 50, por transformação da Sociedade de Sociologia de São Paulo, fundada em 1935. Após 1964 seu funcionamento tornou-se problemático e foi sucessivamente substituída por diversas associações de sociólogos de caráter mais profissional que científico. Foi restabelecida na década de 80 como uma sociedade científica voltada para o desenvolvimento da sociologia brasileira. Presentemente a associação conta com cerca de 400 membros. Sua página virtual fica em: <http://www.sbsociologia.com.br>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA POLÍTICA (ABCP): após um período de desarticulação, a associação foi reorganizada em dezembro de 1996. Desde então, diversas atividades acadêmicas foram desenvolvidas. A entidade conta hoje com 300 associados, incluindo pesquisadores e estudantes de pós-graduação. O endereço virtual da associação é: <http://www.cienciapolitica.org.br>.

Todas estas associações profissionais desempenham papel ativo na Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC.

## ALGUNS PERIÓDICOS IMPORTANTES

Considerando o número de artigos, monografias e livros, o volume de publicações na área de ciências sociais no Brasil é bastante expressivo.

Dentre uma vasta relação de periódicos, alguns dos mais conceituados são:



REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS SOCIAIS (RBCS): publicada a cada quadrimestre, pela Anpocs, desde junho de 1986. É a publicação brasileira na área de ciências sociais com maior circulação.

DADOS – REVISTA DE CIÊNCIAS SOCIAIS: periódico quadrimestral do Iuperj. Publica artigos originais na área de ciências sociais desde 1966.

MANA – ESTUDOS DE ANTROPOLOGIA SOCIAL: editada semestralmente pelo programa de Pós-Graduação em Antropologia Social, do Museu Nacional (PPGA/MN). O jornal publica pesquisas e artigos teóricos na área de antropologia social, em seu sentido mais amplo.

NOVOS ESTUDOS: publicado pelo Cebrap desde 1972, cobrindo todas as áreas das ciências sociais e humanas.

HORIZONTES ANTROPOLÓGICOS: da Universidade Federal do Rio Grande do Sul revista semestral que já publicou quatorze números desde 1995.

LUA NOVA: publicada pelo Cedec (Centro de Estudos da Cultura Contemporânea), de São Paulo, 3 vezes por ano, desde 1984.

TEMPO SOCIAL: publica artigos na área de ciências sociais, voltados principalmente para a discussão de temas contemporâneos. É editada 2 vezes ao ano pelo Instituto de Ciências Humanas e Sociais, da USP.

ANUÁRIO ANTROPOLÓGICO: publicado anualmente pelo Departamento de Antropologia da UnB, sob os auspícios da ABA.

REVISTA DE ANTROPOLOGIA: criada em 1953, para ser o jornal oficial da ABA, atualmente é editada pelo Departamento de Antropologia da USP. Reorganizada em 1991, a Revista de Antropologia conta com colaboradores nacionais e estrangeiros. É publicada 2 vezes ao ano.

REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA POLÍTICA: publicada pela Universidade Federal de Minas Gerais, é o periódico de ciências sociais mais antigo do país. É fundamentalmente voltado para a ciência política e para estudos legais.

BIB: periódico da Anpocs voltado para resenhas sobre temas específicos, bem como para divulgação de pesquisas em andamento e dissertações e teses em sociologia, antropologia e ciência política.

SOCIEDADE E ESTADO: mais voltada para a área de sociologia. É publicada 2 vezes ao ano pelo Departamento de Sociologia da UnB.

TEORIA E SOCIEDADE: publicação bienal dos Departamentos de Ciência Política, Sociologia e Antropologia da UFMG.

## **ALGUNS EVENTOS IMPORTANTES**

O Congresso Anual da ANPOCS, que reúne cientistas sociais de todo o País e diversos convidados estrangeiros. Em média, 350 trabalhos são se-

lecionados para apresentação. O número de participantes tem crescido persistentemente, evoluindo de 57 cientistas sociais na primeira reunião, realizada em 1977, para cerca de 1.000 professores, pesquisadores e estudantes nos eventos mais recentes.

A Reunião Bienal da ABA, reunindo antropólogos e estudantes de graduação e pós-graduação, que se organizam em 31 grupos de trabalho. Durante sua XXII Sessão, em 2000, foram mais de 400 os trabalhos apresentados.

O Congresso Bienal da SBS, que atrai uma vasta comunidade de sociólogos para um rico debate acadêmico. Cerca de 700 trabalhos foram selecionados para apresentação no congresso de setembro de 2001.

A Reunião Bienal da ABCP é o fórum de discussão para os acadêmicos da área de ciência política. O último ocorreu em novembro de 2000 contando com a presença de mais de 300 participantes.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Janine Ribeiro, Renato “Ciências Humanas” Trabalho preparado para a Workshop “No Caminho do Futuro”, MCT, Brasília, 2000.

Micle Sergio. História das Ciências Sociais no Brasil / São Paulo: Sumaré, 1995.

Nogueira, Oracy. - Pesquisa Social: São Paulo: ed Nacional, 1977.

Peirano, Mariza. A Favor da Etnografia / Rio de Janeiro: Relume - Dumara, 1995.

Schwartzman, Simon “No Caminho do Futuro”: comentário sobre as Ciências Humanas: comentário ao texto sobre “Ciências Humanas”, de Renato Janine Ribeiro, MCT, Brasília, 2000 (mimeo)

Schwartzman, Simon. Nos Tempos de Capanema / Rio de Janeiro : Paz e Terra ; São Paulo : ed. da Universidade de São Paulo, 1984.

#### **Os Autores**

ELISA PEREIRA REIS (Coordenadora desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutora em Ciências Políticas pela Massachusetts Institute of Technology (MIT) e professora de Sociologia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

PAULO DE GOÉS FILHO. É antropólogo, assessor para assuntos internacionais e coordenador de programas e projetos da Academia Brasileira de Ciências (ABC).

*Academia Brasileira de Ciências*

# Área de Ciências Matemáticas

## Matemática: um documento sobre sua inserção na Ciência, Tecnologia e Inovação

ARON SIMIS  
CARLOS TOMEI  
NELSON MACULAN FILHO  
SUELY DRUCK

### **I. PRÓLOGO: BASES CIENTÍFICO-CULTURAIS DA MATEMÁTICA**

#### ORIGENS E PERSPECTIVA HISTÓRICA

Este documento norteia-se amplamente pelo princípio de que a Matemática é uma atividade científica com raízes sócio-históricas, em contraposição à concepção estática que a vê como objeto existente *per se*, independentemente da cultura humana. O primeiro ponto de vista, que contou com vários precursores famosos, colocaria a matemática em pé de igualdade com as outras ciências naquilo em que se constituem, simultaneamente, função e agente da sociedade humana e do universo explicável em termos científicos.

A linguagem precisa da Matemática e a beleza de suas fórmulas universais, aparentemente preconcebidas com perfeição, seriam responsáveis pela visão pseudo-platônica da mesma como manifestação pura do espírito humano ou divino, que existe independentemente do estado cultural da humanidade ou de sua trajetória social através dos tempos.

O formato do presente documento diverge da visão acima e almeja esclarecer que o esforço do matemático, como profissional criativo e socialmente produtivo, se iguala ao dos demais cientistas em experimentação, erro e aproximação do fato científico.

Em toda a ciência, a força de uma teoria geral reside na sua capacidade de previsão; esta idéia simples, mas eficaz, continua sendo um traço espetacular da ciência *vis-à-vis* outras atividades humanas (tais como a religião ou a política). Não deve ser confundida com a idéia determinística da ciência, hoje insuficiente para explicar fenômenos quânticos ou caóticos da nature-

za. Previsão em ciência não implica em certeza absoluta; a capacidade de prever persiste apesar da incerteza (por exemplo, presente no Princípio Quântico da Incerteza e, mais modernamente, na previsão em fenômenos caóticos).

Uma diferença entre a Matemática e outras áreas do conhecimento experimental traduz-se, algumas vezes, na natureza da validação da teoria. Enquanto que nas chamadas ciências naturais a validade de uma teoria geral viria por via de confirmação em laboratório ou observação experimental, na matemática esta validação seria interna, em confronto com as teorias sólidas já existentes e de acordo com o grau de rigor atingido num determinado período. A título de ilustração, a teoria dos fluxos de Newton, quando confrontada com o grau de rigor e de solidez da matemática do século XX, dificilmente seria aceita para publicação num periódico de matemática corrente. A história da Matemática está repleta de correções de percurso como este.

A Cosmologia, antes caracterizada como uma disciplina essencialmente observacional, hoje deriva seus princípios mais importantes de equações físico-matemáticas sofisticadas e de modelos cosmológicos arrojados que se apoiam na possibilidade de espaços geométricos só previsíveis mediante a abstração matemática. Neste aspecto, a Cosmologia é a ciência “experimental” que mais se aproxima do *modus-operandi* matemático, embora a constatação por experiência ou observação indireta (como o “ruído de fundo” do Universo, que motivou um prêmio Nobel) não seja inevitável. Algumas feições das teorias cosmológicas de Stephen Hawking e de Roger Penrose são intrinsecamente inobserváveis pelo nosso universo. Se isto é verdade, a única forma de validação para uma tal teoria é o confronto interno com a solidez das teorias existentes e o grau de rigor na derivação das equações matemáticas que dão suporte à teoria.

Pouco se sabe sobre as concepções de fundo filosófico dos matemáticos antigos pós-helenistas. Com a possível exceção de Francis Bacon, o continente europeu nada ofereceu, nesta direção, até praticamente o século XVII. Os albores de uma astronomia em bases científicas começavam então a despertar, apesar da resistência oferecida pela Igreja que se arvorava em juiz da incipiente epistemologia oficialmente aceita. A Matemática era um mero instrumento de cálculo, poucos se preocupando com o debate do seu sentido filosófico-epistemológico. Este quadro só mudaria, substancialmente, com René Descartes (*Discours sur la Méthode*) e, um pouco depois, na segunda metade do século XVII, com a componente filosófica da obra de Gottfried Wilhelm Leibniz (*Ensaio sobre o Entendimento Humano*) e a eventual incursão matemática de Baruch Spinoza. Na Inglaterra, destaca-se o trio Locke-Berkeley-Hume e em França, os enciclopedistas D’Alembert, Diderot, Rousseau e Condillac.

David Hume escrevia: "...todo conhecimento (científico) degenera em probabilidade...Não existe um algebrista ou um matemático (sic) tão conhecedor de sua ciência a ponto de depositar inteira confiança em qualquer verdade que apenas descobriu, sem considerá-la senão como mera probabilidade. Toda vez que ele (o matemático) revê seus argumentos numa prova matemática, cresce sua confiança (na validade do resultado), mais ainda pela aprovação de seus amigos; e é conduzido à perfeição pelo consentimento e aplauso geral do mundo instruído." Um claro vislumbre oitocentista da Matemática como ciência sócio-cultural, sujeita a avanços gradativos e com resultados probalisticamente cada vez mais precisos.

Jean-le Rond D'Alembert foi um autodidata em Matemática e Física, tendo publicado um *Tratado sobre Dinâmica* com a idade de 26 anos e, entrado para a Academia Francesa aos 37 anos, tornando-se depois secretário perpétuo da mesma, por seu prestígio e admiração geral. Eis alguns excertos escritos para a introdução da Enciclopédia de Diderot: "...uma vez que nem todas as partes da matemática possuem o mesmo objetivo simples, a (idéia da) certeza...também não se distribui equitativamente ou da mesma maneira entre essas partes...Quanto mais ampla,...geral e abstrata (a área da matemática), tanto mais isentos de obscuridades são seus princípios. É por esta razão que a geometria é mais simples do que a mecânica, e ambas são menos simples do que a álgebra..."

A passagem do século XIX ao XX conheceu dois matemáticos de alta qualificação profissional que deixaram uma marca profunda na face da matemática, imprimindo uma filosofia de ação de grande efetividade na matemática: David Hilbert e Henri Poincaré. Hoje seria difícil imaginar o panorama da matemática sem estes matemáticos. Ambos grandes *problem solvers*, estabeleceram a palavra definitiva sobre uma determinada área, deixando um legado profundo para o futuro da área. A grosso modo, poderíamos dizer que a influência de Hilbert sentiu-se fortemente na primeira metade do século XX, enquanto que a de Poincaré refletiu-se preponderantemente na segunda metade do mesmo.

Por mais que ansiemos por uma classificação simplista da visão filosófica destes dois matemáticos, não é honestamente possível dizer que um fosse formalista e o outro, humanista. A vida matemática de ambos é uma prova indireta de que ambos, ao menos em sua rotina profissional, eram partidários da visão humanística (isto é, sócio-histórica) da matemática como atividade.

#### MATEMÁTICA E SOCIEDADE

A interação entre ciência e sociedade é extremamente complexa. Uma discussão sobre este tema exigiria um simpósio específico, com a participa-

ção de cientistas e líderes sociais. A interação entre Matemática e sociedade é mais simples, menos politizada e menos traumática, embora não de todo destituída de aspectos políticos e complicadores.

A seguir, procuraremos ressaltar brevemente alguns desses aspectos. Maiores detalhes serão evidenciados na continuação do documento.

A cláusula mais óbvia do contrato subentendido entre Matemática e o tecido social é o ensino nas escolas primária e média. A necessidade de uma educação básica em Matemática raramente é contestada, mesmo pelos mais fervorosos defensores da escolha curricular livre, com ênfase na formação humanista da criança. A ignorância em matemática básica só encontra rival no analfabetismo, em termos de gravidade e trauma social. A meta da instrução matemática mínima é um fenômeno enraizado na cultura de todos os povos, quase tão antigo como a própria civilização. Precisamente, não se pode afirmar onde teve origem e porque. É muito provável que tenha surgido, simultaneamente, na maioria dos aglomerados civilizados como resposta à necessidade intrínseca de competitividade e tarefa social.

Seja como for, a educação matemática básica tem-se constituído, no Estado moderno, como obrigação desse mesmo Estado. A partir desta premissa básica, começa a competir em pé de igualdade com as demais obrigações de governo, sofrendo as consequências de priorização deste governo. Além disso, obriga-se a cumprir metas, responder por ineficácia do sistema e pelas estatísticas de reprovação e nomear comitês intermináveis para discussão e normatização. Como “bonificação” extra, há a obrigação da revisão permanente da grade a fim de mantê-la competitiva e moderna diante de um mundo em que a tecnologia, aparentemente de forma independente do sistema educacional, se desenvolve em ritmo alucinante.

Evidentemente, não existe uma dissociação – pelo menos não assintoticamente – entre os resultados da educação em matemática e em ciências e o progresso tecnológico da sociedade como um todo. Este ponto, embora claro para sociedades mais estruturadas do que a nossa, não resulta da insistência da comunidade de educadores ou da sociedade. O grito de alerta soou, da primeira vez, quando os próprios governos constataram que a pujança político-econômica de uma país dependeria, doravante, do avanço tecnológico e que este, estava atrelado ao avanço científico, o qual dependeria de novos quadros no horizonte de uma geração.

No Brasil, há a preocupação mais rudimentar de erradicar o analfabetismo. O Ministério da Educação, em suas várias políticas passadas e presentes, muitas oriundas de uma ausência de planejamento a longo prazo, está longe de configurar as metas de uma política de educação em matemática e nas ciências, de modo a criar novas gerações de competência para gerir nossa capacidade científico-tecnológica (a presente iniciativa do Ministério de

Ciência e Tecnologia constitui uma exceção refrescante neste âmbito).

Enquanto a preocupação com a educação matemática básica é extensiva a toda a sociedade, em maior ou menor medida, a idéia de uma elite científica horizontal para produzir tecnologia e bem-estar não é muito compreendida – nisto, não estamos muito diferentes da maioria dos países, exceto o chamado bloco do primeiro mundo. A ciência é vista como algo superior e estranho e amedronta inclusive as lideranças políticas do País.

A Matemática, neste patamar, tem uma situação singular. Para muitos, não é sequer vista como ciência; para outros, é uma ciência já morta, cujos resultados já foram todos encontrados. Quantos cidadãos de um país têm alguma idéia sobre a relação entre matemática e matemática aplicada? Ou entre estas e a tecnologia? Ou entre as três e a elaboração do produto final, manufaturado?

Uma das facetas a que se reporta este documento é a consideração destes três estágios de transferência, desde a matéria-prima teórica até o produto final, de alcance para toda a sociedade. À sociedade, evidentemente, interessa o produto final (e de boa qualidade, por favor!). Ao Estado e à comunidade científica cabe esclarecer à sociedade que deve pagar um preço (e não vai ser barato!) para obter este produto. Vai ter de manter universidades, laboratórios, congressos, publicações e outras coisas mais. Isto forma uma cláusula de contrato importante entre os ditos segmentos (cientistas teóricos, aplicados, tecnólogos e manufaturadores) e a sociedade. Em qualquer momento que esta cláusula estiver ameaçada de descumprimento, todo o edifício construído ao longo dos anos e todo o investimento anterior desmoronarão em rota irreversível.

A aplicabilidade da matemática não é um mito: a sociedade e os governos podem ficar tranquilos sobre isto. Por outro lado, não é uma prestação de serviço pela qual se paga e da qual se espera a entrega do produto no dia seguinte. O processo científico (leia-se: ciência básica) é por natureza lento e, essencialmente, imprevisível; a transferência à base aplicada (leia-se: tecnologia genérica ou modelagem) é complexa e, freqüentemente, ineficaz para fins computacionais; finalmente, a portabilidade da tecnologia (leia-se: manufatura do produto industrial) pode resultar impraticável ou anti-econômica. Faz parte da educação científica de uma sociedade a compreensão dos processos acima e da distinção entre aplicabilidade e produto industrial.

A sociedade deve estar disposta a honrar o contrato pois, pagando os custos da base de Ciência e Tecnologia, estará construindo um ambiente favorável à biodiversidade e à qualidade de vida no planeta.

## MATEMÁTICA E AS CIÊNCIAS NATURAIS

Finalmente, embora de impacto menor na sociedade, a natureza da relação do *modus operandi* da Matemática com o das outras disciplinas básicas ou aplicadas é um ponto a ser destacado. Esta relação é tão mais natural quanto maior o estado de desenvolvimento científico de uma sociedade. Por exemplo, em países com forte tradição em Física Teórica é corriqueiro seus cientistas se referirem a fenômenos de sua área como objetos matemáticos, não vendo qualquer necessidade de mascarar a sua natureza singular. Eis o insuspeito Hawking: “A teoria da mecânica quântica se baseia num tipo de matemática inteiramente nova, que não mais descreve o mundo real em termos de partículas e ondas...” (em *Uma Breve História do Tempo*, Bantam, 1988). A idéia da emissão de partículas a partir de um buraco negro (radiação de Hawking) resultou de verificações matemáticas e não de observação experimental; sua comprovação, pelo menos até poucos anos atrás, era puramente matemática – mas explicava um aspecto possível da interação entre a relatividade geral (gravitação) e a mecânica quântica, um dos postulados da teoria (prevista) de unificação dos campos (GUT).

Albert Einstein usou o jargão da geometria riemanniana para descrever a natureza do espaço-tempo e de sua curvatura – matemática dita pura, da mais bela cepa! Herrmann Minkowski foi o matemático que, de fato, melhor descreveu as idéias de Einstein, introduzindo uma noção de espaço-tempo baseado nas transformações de Hendrik Lorentz – que são as transformações de quatro dimensões que mantêm invariantes as equações do eletromagnetismo de James Clerk Maxwell. As próprias equações de Maxwell são derivadas de modo puramente matemático – a comprovação de que perturbações eletromagnéticas propagam-se por ondas só foram confirmadas *a posteriori* pelos experimentos de Heinrich Hertz, em 1886. Exemplo mais recente é o de Murray Gell-Mann e, independentemente, Yuval Ne’eman, estabelecendo que  $SU(3)$ , um dos grupos simples na teoria de Sophus Lie, é o objeto adequado para explicar uma simetria interna na teoria de partículas. Nas palavras do prêmio Nobel Steven Weinberg: “É muito estranho que matemáticos desenvolvam, guiados pelo seu senso de beleza matemática, estruturas formais que somente mais tarde os físicos achem úteis, mesmo quando os próprios matemáticos não tinham este objetivo em mente”. (em *Dreams of a Final Theory*, Random House, New York, 1992, p. 157)

Talvez tenha sido o físico Eugen Wigner quem melhor expressou a perplexidade filosófica da relação da matemática com outras ciências: “O milagre da apropriação da linguagem da matemática para a formulação das leis da física é um presente maravilhoso que não entendemos e nem merecemos. Deveríamos ser agradecidos (ao milagre) e esperar que continue valendo em pesquisa futura e que se estenda...a amplos ramos do conhecimento”



(no seu famoso ensaio *The unreasonable effectiveness of mathematics*). Qualquer que seja a inclinação epistemológica, não se pode deixar de suspeitar que existe, de fato, um fator extremamente complexo e profundo responsável pelo processo em questão. Não existe qualquer evidência tangível de que esta interação mútua deixe de ter lugar no futuro próximo, embora mais e mais consciente e *a priori* interdisciplinar.

A interface direta da matemática com outros ramos menos ortodoxos, através de temas como a teoria da informação, a teoria dos jogos (inventada por John von Neumann), a teoria das filas, a teoria do controle, a teoria das finanças, a teoria dos códigos e a criptografia, só para citar alguns exemplos, é tão obviamente aplicável a problemas de infra-estrutura pública que seria inútil tentar usar estes modelos como publicidade para a aplicabilidade da matemática. Neste contexto, a sociedade pode até respirar aliviada já que o investimento público é bem menor, por exemplo, do que o da tecnologia espacial, enquanto que o retorno é bem mais imediato.

## II. A MATEMÁTICA NO PAÍS: ESTADO DA ARTE

### VISÃO GERAL DA ÁREA

Este documento se insere no espírito do Livro Verde do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), que vê “a ampliação do esforço em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) como condição necessária de desenvolvimento, bem-estar, justiça social e de exercício de soberania.” Adicionemos o reconhecimento tácito de que o desempenho de uma economia competitiva e integrada no cenário internacional depende da capacidade de utilização do conhecimento científico-tecnológico, este com forte base na matemática fundamental e computacional. A rigor, o progresso científico-tecnológico das últimas décadas só se tornou exequível com o avanço destas disciplinas. No presente, o enorme avanço das ciências naturais e sociais requer o uso e a interação crescente com a matemática; a interdisciplinaridade será, mais do que certamente, a característica mais importante do modelo de desenvolvimento científico-tecnológico do século XXI.

Assim expressou-se Rita Colwell, presidente da *National Science Foundation* (NSF) para o quadriênio 2001-04 (tradução livre): “Não é preciso enfatizar quão vital é a matemática para a forte manutenção do nosso sistema de pesquisa e desenvolvimento. Nutrir a própria matemática é o fundamento desta nossa ampla tarefa. Consideramos a matemática como fundamental para o progresso da ciência e engenharia (tecnologia)...À medida que nosso mundo e economia mudam mais rapidamente do que nunca, a educa-

ção continuada torna-se um treinamento de sobrevivência. A educação (*literacy*) matemática será um ingrediente ainda mais vital neste cenário.”

Como reconhecimento desta importância crescente, a UNESCO declarou 2000 como o Ano Internacional da Matemática.

#### ORIGENS

A história do desenvolvimento da matemática no País é de natureza recente. Exemplos isolados não foram suficientemente significativos como a possibilitar o avanço da área até bem as primeiras décadas do século XX. Em verdade, na primeira metade do século que se esgotou, pouco aconteceu no cenário da área até a fundação do CNPq, em 1951, e do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Impa), um ano depois. Embora a Universidade do Brasil, no Rio de Janeiro, e a Faculdade de Filosofia da USP existissem desde 1920 e 1934, respectivamente, a atividade matemática em pesquisa resumia-se à presença de especialistas visitantes do exterior (a exemplo de Jean Dieudonné, Alexander Grothendieck, Gustav Reeb, Laurent Schwartz, André Weil e Oscar Zariski). A década seguinte marca a nítida presença de autores brasileiros em periódicos internacionais, embora boa parte desta pesquisa tivesse origem no exterior. Com a sistematização dos primeiros programas de pós-graduação na década, começa a se acentuar a atividade de pesquisa no País.

Nos últimos 40 anos, a Matemática brasileira ocupa gradualmente posição de liderança no continente latino e no exterior. No momento, existem no País 24 programas de pós-graduação em matemática (básica e aplicada), dos quais 15 receberam nota pelo menos 4 na avaliação da Capes de 1998, varios destes com nota 5 e alguns com nota 6 ou 7. Os grupos de pesquisa nestes centros gozam de prestígio internacional, publicando regularmente em periódicos de alto nível. Em geral, os cursos de graduação e mestrado nestes centros estão estabilizados, oferecendo um espectro de disciplinas de bom nível.

A partir dos dados do *MathSciNet* (banco de dados das publicações matemáticas instituído pela *American Mathematical Society*, com acesso eletrônico), o número total de trabalhos publicados pelos matemáticos brasileiros ou aqui sediados, em periódicos de circulação internacional, cresceu aproximadamente seis vezes nos últimos 15 anos, o que atesta o progresso na área no País, bem como o sucesso da política adotada no sentido da consolidação dos programas de pós-graduação e dos grupos de pesquisa nacionais.

A formação de mestres e doutores egressos dos centros mencionados cresceu sistematicamente ao longo das três décadas recentes. Assim, logrou-se estabelecer um patamar em que a totalidade absoluta de mestres e a grande maioria de doutores na área são titulados no País. Ainda assim, reconhe-

ce-se que o patamar obtido é insuficiente, no que toca aos efetivos quantitativos, estando em descompasso com as necessidades acadêmicas e a dinâmica educacional na área, principalmente se confrontada com o otimismo e a importância da área mencionados anteriormente.

#### PANORAMA ATUAL

A Matemática no Brasil experimentou grande avanço nas últimas três décadas, sobretudo nas linhas de pesquisa fundamentais, contando hoje com profissionais de renome internacional. Foram estimulados centros e ambientes de grande atividade científica, com a realização concomitante de reuniões e congressos de altíssimo nível e de reconhecimento internacional. A liderança do País no contexto da América Latina, em Matemática, é hoje incontestável. Nossos centros de pós-graduação servem de *outlet* para inúmeros matemáticos oriundos de países do continente, que assim retornam a seus países para prestar serviços a suas comunidades.

A Matemática no País desfruta, presentemente, de sólido prestígio internacional. Além do expressivo aumento da colaboração com destacados centros e especialistas do exterior, figura a matemática brasileira no Grupo III da União Matemática Internacional, ao lado da Holanda, a Espanha, a Bélgica, a Hungria e a Polônia, só para citar países da Europa com larga tradição matemática.

A seguinte tabela, publicada pela bioquímica Glacy Zancan, no “Jornal Ciência Hoje”, da SBPC, com base no *Science Watch*, fornece o índice de impacto das publicações nas principais áreas das ciências exatas e naturais, no Brasil e no mundo.

ÁREA DO CONHECIMENTO	MUNDO	BRASIL	%Brasil/Mundo
Agronomia	3,38	0,32	9
Biologia Molecular e Genética	14,44	2,25	15
Bioquímica	11,00	5,50	50
Ciência da Computação	3,65	1,96	53
Clínica Médica	7,19	2,97	41
Engenharia	2,88	1,95	67
Farmacologia	8,16	3,70	45
Física	6,75	3,48	51
Geociências	6,51	4,60	70
Imunologia	13,96	8,00	57
Matemática	3,16	2,48	78
Neurociências	12,56	5,84	46
Química	6,47	3,79	58

Observa-se que a Matemática atinge o maior percentual relativo de impacto (última coluna da direita). A tabela também mostra que, em que pese o pequeno impacto da Matemática no mundo – especulativamente, devido à grande presença de países populosos cujas sociedades não atingiram suficiente grau de sofisticação matemática – no Brasil este impacto é bem maior.

No tocante à matemática aplicada, uma parte substancial da atividade-fim está disseminada fora dos departamentos de Matemática. Existem grupos em atividades de modelagem sofisticadas (meteorologia, rastreamento, engenharia de meio ambiente), outros em projetos de tecnologia avançada (aeronáutica, grandes sistemas integrados, extração petrolífera, estruturas), ainda outros em aspectos de planejamento e simulação. Existem também grupos sólidos em certas atividades mais teóricas (controle, otimização, análise numérica, programação científica de alto desempenho, computação gráfica).

O emprego da Matemática na indústria, em países desenvolvidos, criou seu mercado de trabalho entre empresas que recrutam matemáticos para um leque muito diversificado de atividades. A situação brasileira, por outro lado, deixa a desejar: o parque industrial privado, severamente inibido pelo desestímulo à produção e à inovação tecnológica, sequer toma conhecimento do potencial disponível na comunidade matemática. Mesmo no seio das empresas estatais, com certa tradição de pesquisa e desenvolvimento, não é freqüente encontrar matemáticos e outros especialistas trabalhando em igualdade de condições num projeto.

Sem a criação explícita de estímulos, não há porque esperar uma alteração em grande escala do presente quadro. Alunos de pós-graduação em certas áreas mais aplicadas têm remunerações melhores (e possibilidades de emprego maiores) se estiverem matriculados em programas de engenharia. Estes mesmos programas pouco se servem do potencial matemático no País, sendo mais imediato depender da avançada informação originada em países desenvolvidos, adaptando os mesmos às necessidades industriais do País. Um planejamento estratégico visando uma expansão da área deveria criar oportunidades de interação entre matemáticos aplicados, empresas e pesquisadores especialistas em outras atividades.

A interação da Matemática com a computação é uma das facetas modernas da área. Esta interação cresce em ritmo acelerado e se diversifica em velocidade espantosa. Pode-se citar as seguintes interações temáticas no País: Otimização Discreta, Programação Matemática, Pesquisa Operacional, Métodos Numéricos em Equações Diferenciais e Integrais, Algoritmos Paralelos, Análise Numérica, Métodos Estatísticos, Criptografia, Biologia Computacional, Teoria dos Grafos, Geometria Computacional, Linguagens

Formais, Autômatos, Automação e Robótica, Computação Gráfica (incluindo Processamento de Imagens, Realidade Virtual, CAD).

Esta interação se produz em vários centros de matemática, de ciência da computação e de engenharia, além de outros centros ligados à física, à biologia e a outras ciências naturais. Uma parcela importante da produção científica subjacente (ou adjacente) a esta interação é realizada nas instituições com pós-graduação em Ciência da Computação. No momento, existem cerca de 30 desses programas que, naturalmente, desenvolvem outras atividades específicas nesta disciplina, muitas dessas mesmo assim fortemente inspiradas na (ou de feição) matemática (por exemplo, lógica e inteligência artificial, aí incluída prova automática de teoremas). A Computação Quântica, com forte substrato físico-matemático, ainda não se inseriu nos grupos de pesquisa no País, mas esta inserção será fatal na próxima década.

O bom desempenho da pesquisa no País não foi acompanhado pela educação básica que tem atualmente uma situação catastrófica. Esta situação atinge especialmente a formação em Matemática, a única ciência estudada desde a infância em todos os países do mundo. Temos hoje uma grande massa de cidadãos incapazes de manipular informações simples tais como gráficos, escalas, juros e estudantes ingressando em cursos universitários desconhecendo conceitos elementares da matemática que deveriam ter sido aprendidos e amadurecidos durante os anos escolares. A escassez de professores de matemática aliada à deficiência de formação desses professores está certamente entre as principais causas desse quadro dramático.

A questão da formação de recursos humanos em Matemática em diversos níveis no País foi motivo da elaboração recente do documento “Panorama dos Recursos Humanos em Matemática no Brasil: Premência de Crescer” que aponta seriamente para a falta de políticas efetivas do governo com as questões do ensino. As políticas de pessoal nos países em desenvolvimento em geral são elaboradas a partir de visões imediatistas e raramente conseguem a velocidade de ação necessária para reproduzir bons resultados obtidos em países modelos mais desenvolvidos. Diante dos desafios que o País enfrenta para competir internacionalmente em diversos setores, a questão do ensino não pode mais esperar, sob o risco de sermos empurrados definitivamente para uma posição de dependência qualitativamente crescente.

#### GRUPOS E TEMAS DE PESQUISA

Atualmente, a pesquisa em Matemática no País se concentra nas seguintes subáreas temáticas:

##### 1) Sistemas Dinâmicos

Em sua acepção geral, esta subárea estuda os sistemas que evoluem no tempo, tais como são encontrados na física, ecologia, meteorologia, biologia e economia. Pode-se dizer que esta subárea, em sua forma moderna, nasceu de maneira nitidamente multidisciplinar. Além disso, a teoria matemática subjacente não prescinde de forte interação com outras partes da matemática fundamental, tais como a álgebra, a análise, a geometria/topologia e a probabilidade. Há uma grande atividade nesta área tanto no Brasil quanto na América Latina, promovida por instituições nacionais. Os principais temas tratados são:

- Dinâmica Real e Teoria Érgodica;
- Dinâmica Complexa;
- Bifurcações e Estabilidade de Campos Vetoriais.

## 2) Equações Diferenciais Parciais

Poucas subáreas da Matemática e, mais geralmente, do conhecimento científico básico e aplicado, se igualam a esta, pela sua amplitude e capacidade de codificar a natureza local dos fenômenos da natureza. No Brasil, os grupos e temas de pesquisa variam das equações para fluidos e fenômenos meteorológicos às da elasticidade não linear e da teoria cinética dos gases; das equações célebres de Korteweg-de Vries (KdV), Benjamin-Ono, Schrödinger que servem a modelos da física atômica e da mecânica quântica, além do seu significado para outras subáreas da Matemática; das equações célebres da relatividade e da mecânica quântica relativística ao tratamento algébrico usando o formalismo de feixes e complexos de módulos. Alguns temas centrais são:

- Equações Elípticas e Hipérbólicas;
- Operadores Pseudo-Diferenciais;
- Espalhamento e Problemas Inversos;
- Dinâmica dos Flúidos e Mecânica do Contínuo.

## 3) Álgebra

A álgebra clássica, além de ser a mais antiga das atividades matemáticas (apenas possivelmente rivalizada pela geometria intuitiva antiga), é o oásis da tranqüilidade matemática, onde uma teoria atinge sua forma definitiva e duradoura. Ao contrário de teorias em outros ramos do conhecimento humano, que soem ser canceladas com o avanço de outras mais plausíveis, uma teoria matemática correta se aperfeiçoa ao longo do tempo, atingindo por fim uma melhor forma estável. Esta forma se acomoda tanto melhor quanto mais precisamente enunciada em termos algébricos. Nas últimas décadas, a álgebra tem se mostrado extremamente eficaz no tratamento de problemas do mundo moderno, desde as comunicações e a criptografia até problemas típicos de otimização discreta e robótica (via algoritmos de bases

de Gröbner). No Brasil, as três principais vertentes são:

- Geometria Algébrica;
- Álgebra Comutativa e Computacional;
- Álgebra não Comutativa.

#### 4) Geometria e Topologia

A amálgama destas duas subáreas tem raízes históricas na considerações de Bernhard Riemann, no século XIX. No presente, as duas ocupam uma extensa gama de temas e tópicos, tornando-se monumental a dificuldade em separá-las. Grosso modo, existem os métodos diferenciais que exibem uma peculiaridade, permitindo a separação de duas vertentes principais: a Topologia Diferencial e a Geometria Diferencial. A última instalou-se logo no início das atividades matemáticas no País, mantendo a tradição de classificar as possíveis imersões de objetos geométricos (variedades), através da consideração de equações diferenciais apropriadas. Uma ramificação importante da Topologia Diferencial examina o comportamento de singularidades de objetos geométricos (problema local), enquanto que uma vertente mais moderna analisa o comportamento global de folheações analíticas dos espaços geométricos. Eis os principais temas no País:

- Geometria Diferencial;
- Topologia das Singularidades;
- Topologia das Folheações.

#### 5) Probabilidades e Processos Estocásticos

Esta área nasceu da probabilidade clássica, mas no presente atingiu grande sofisticação e aplicabilidade, ligando-se fortemente a sistemas dinâmicos, teoria ergódica e teoria das escalas. O estudo de fenômenos críticos em processos aleatórios é outro aspecto moderno da subárea, com aplicabilidade a tratamento de imagens, modelagem em linguística e identificação de padrões em trajetórias de processos estocásticos. As principais vertentes temáticas são:

- Processos Aleatórios;
- Sistemas Markovianos de Partículas;
- Percolação e Transição de Fase Dinâmica.

#### 6) Matemática Discreta

A velha combinatória elementar e o clássico método dos elementos finitos deram origem a uma subárea espetacular da matemática no século XX. Geralmente chamada de Combinatória, talvez de maneira inapropriada, esta subárea tem um charme único no que formula problemas complexos em uma linguagem de modelos discretos. Estes modelos varrem uma extensa

gama de objetos, desde os complexos simpliciais e poliédricos, aos grafos e matróides, às variedades tóricas. As aplicações variam desde a química dos polímeros e cristais até a biologia molecular, das redes complexas à teoria dos jogos (processo de decisão). As principais temáticas no País:

- Teoria dos Grafos e Matróides;
- Métodos Probabilísticos em Combinatória;
- Otimização Discreta.

#### 7) Otimização e Pesquisa Operacional

Estas são subáreas extensiva e diretamente usadas em engenharia, com forte relacionamento e dependência de ferramenta computacional, mas também de teorias matemáticas sólidas, tais como a Análise Convexa. O desenvolvimento de algoritmos, com o estudo de sua complexidade, estabilidade e convergência, é alta ordem na subárea. Por ser uma das subáreas mais populares da matemática entre outras ciências, prescinde de melhor apresentação. No Brasil, estuda-se:

- Análise Estrutural de Problemas;
- Desenvolvimento de Algoritmos.

#### 8) Modelagem Matemática

Não se trata de uma subárea da Matemática propriamente, mas da transferência imediata da matemática à formulação de modelos plausíveis para a ciência e tecnologia. Pela sua natureza, não discrimina métodos ou fontes teóricas, envolvendo toda uma gama de processos e informações oriundas das várias partes da matemática. A modelagem significativa exige uma grande sofisticação matemática, passando pela dinâmica não linear, análise harmônica, equações diferenciais estocásticas, matemática computacional e problemas inversos em teoria de espalhamento. É difícil enunciar todos os temas de modelagem matemática no país; escolhemos alguns temas candentes:

- Modelos Bio-Matemáticos;
- Dinâmica Populacional;
- Modelos Financeiros.

#### 9) Matemática Computacional

Esta subárea formula e analisa a matemática teórica subjacente à implementação de modelos computacionais. Embora o objetivo final seja a plausibilidade de algoritmos para o computador, o processamento prévio da informação subjacente é eminentemente matemático. Um exemplo moderno é o modelo dos chamados Espaços de Escala, que está na base das equações diferenciais parciais aplicadas ao processamento de imagens – aí incluídos



tópicos como *wavelets*, *snakes* e *level set methods*. As principais temáticas no País são:

- Visão;
- Processamento de Imagens;
- Computação Gráfica;
- Métodos de Álgebra Linear Computacional;
- Análise Numérica.

### III. PERSPECTIVAS PARA A PRÓXIMA DÉCADA

#### DA ÁREA PROPRIAMENTE DITA

As perspectivas da área para a próxima década são ilimitadas, principalmente se consideradas por um ângulo global ou internacional. Para uma visão mais precisa dos problemas difíceis com os quais a área terá de se confrontar nas próximas décadas reportamo-nos ao apêndice abaixo (considerações do matemático M. Gromov).

A interação entre centros de excelência em matemática e ciências afins se intensifica progressivamente. A área no País tem-se valido de acordos de cooperação bilateral com países desenvolvidos, destacando-se entre estes os convênios com a NSF (EUA), a GMD (Alemanha) e, mais recentemente, com o Ministério das Relações Exteriores da França. Além disso, outras atividades bilaterais de pesquisa são realizadas com regularidade com várias instituições de excelência, incluindo trabalhos de laboratório e simulação computacional em áreas estratégicas como petróleo e clima.

No aspecto teórico propriamente, espera-se um grande avanço no País na área de sistemas dinâmicos e disciplinas afins interagentes. Já se conta com grupos teóricos excelentes, capazes de, dado o estímulo adequado por parte das políticas estratégicas do governo em C&T, atuar mais fundo na cadeia tecnológica e da produção. Outro avanço que pode ser espetacular, já contando o País com grupos teóricos sólidos, situa-se em problemas inversos de espalhamento, em suas mais diversas formas. A modelagem analítico-geométrica de problemas médicos, desde formas mais sofisticadas e precisas de *scan* até a geometrização exata do sistema arterial e pulmonar, é uma área factível no país e de horizontes ilimitados. Um outro campo em que existem sólidas equipes teóricas é o da geometria algébrica e suas disciplinas afins (desde a álgebra comutativa até a combinatória algébrica e a computação simbólica), com grande potencial de aplicação não somente em física teórica e cosmologia (teoria de cordas, teoria das membranas), como em rotinas da cadeia produtiva (tais como criptografia, telecomunicações, robótica).

A área não pode subestimar a teoria, sua *raison d'être* por excelência. Uma teoria sólida é o único caminho para uma matemática aplicada relevante. À medida que a teoria progride, poderemos ter um avanço nas aplicações. Evidentemente, em um certo patamar, o entrelaçamento das duas facetas é complexo e uma influencia a outra.

#### DA INTERFACE COM A COMPUTAÇÃO

No aspecto da matemática computacional ou, mais amplamente, no da pesquisa em computação que se inspira ou usa a matemática, a perspectiva é de grande crescimento. No Brasil existem quase mil empresas de *software* ligadas ao programa Softex. Certamente, essas empresas necessitam de profissionais de computação altamente qualificados, com formação básica também nas áreas mais teóricas, caso se queira ter empresas criativas que respondam às questões técnicas e comerciais da sua época.

Infelizmente, há setores na ciência da computação no País que pretendem fornecer cursos “objetivos” e “aplicados”, desprezando um adequado embasamento em matemática e física. Forma-se um graduado em informática sem uma disciplina sequer de física e com muito pouco conhecimento das disciplinas básicas da matemática, tais como Cálculo Diferencial e Integral ou Álgebra Linear. Este documento mantém que esta visão é errônea e mistificadora do potencial do País em computação. Este, a tornar-se nacional e internacionalmente competitivo, deve preservar forte interação com as áreas de matemática, física, química e biologia.

Não seria mesmo exagerado argumentar, nesta atmosfera de pretensa objetividade, quão importante é o estímulo direto à produção em periódicos indexados de circulação internacional. Além disso, o setor possui, no presente, pouquíssima patentes e alguns protótipos.

Um exemplo cândido é o da tecnologia hospitalar. Praticamente sem a presença da Matemática e da Ciência da Computação, o setor hospitalar no País não tem criado oportunidades para os nossos graduados e pós-graduados para as questões relacionadas ao processamento de imagens, redes de computadores, pesquisa operacional, banco de dados etc. O setor hospitalar universitário poderia ser um centro de enorme criação tecnológica de ponta, em que o País poderia competir fortemente com outros países.

Nos próximos dez anos, a ciência da computação, no que se refere a suas linhas de pesquisa, deve manter um grande número de seus pesquisadores em setores mais teóricos e também deverá tratar de problemas mais específicos, tais como comércio eletrônico, computação quântica, redes de alta velocidade, computação de alto desempenho, métodos numéricos para problema de grande porte, tratamento automático da informação de enormes bancos de dados.

DOS GRANDES TEMAS APLICADOS DA ÁREA

O avanço tecnológico internacional galopante só terá um forte competidor no País mediante políticas estratégicas explícitas e estáveis por parte do Governo Federal. Existe na área um potencial sólido, sofisticado e produtivo, a julgar pelo exposto anteriormente. Algo parecido com o que sucedeu com os Estados Unidos e países europeus (guardadas as devidas proporções de época e urgência) por virtude da segunda grande guerra. Com uma política explícita, até os grupos mais teóricos (abstratos) em matemática foram mobilizados eficientemente para a produção bélico-estratégica. O que se espera é que, por razões de outra ordem – tais como a premência do crescimento sustentado e a competitividade tecnológica – políticas de natureza similar impactante venham a ser tomadas pelo governo, sob a coordenação principal do MCT.

Em geral, prognostica-se intensa atividade direcionada aos seguintes grandes temas de alta relevância para a sociedade como um todo, em que a matemática desempenha um papel cada vez maior. Alguns destes já são objeto de pesquisa de grupos no País.

- Modelagem de fenômenos biológicos e biomédicos:
  - Imageamento médico e problemas inversos;
  - Hemodinâmica do sistema cardiovascular;
  - Imunologia (especialmente dinâmica viral);
  - Fisiologia e fractalidade do sistema respiratório;
  - Movimento dos micro-organismos.
- Processamento de imagens e digitalização de dados:
  - Computação gráfica: reprodução tridimensional e algoritmos baseados em *wavelets*, elementos finitos e geometria algébrica;
  - Aplicações de fractais matemáticos a algoritmos de vídeo, compressão sem perda, refinamento de resolução, compressão e reconhecimento de imagens;
  - Bibliotecas digitais (modelos e algoritmos para armazenagem, recuperação, transmissão e reprodução de multimídia);
  - Gerenciamento digital de propriedade (*asset*), incluindo marca d'água digital, criptografia, compressão, autenticação e distribuição.
- Dinâmica dos fluidos:
  - Petróleo (detecção e extração eficaz);
  - Meteorologia (modelos numérico-computacionais de previsão).
- Design geométrico:
  - Captura de imagens móveis;
  - Aplicações a ciência dos materiais.

DA EDUCAÇÃO EM MATEMÁTICA

Um aspecto crucial nesta perspectiva para a próxima década é o da educação para ciências, mais particularmente, da educação para a matemática. Como foi defendido em várias partes deste documento, trata-se, no caso da Matemática, de um setor estratégico no que diz respeito à interface direta com a sociedade.

Estritamente, existem duas componentes distintas, mas entrelaçadas, quando se fala de educação para ciências. Uma se preocupa com a qualidade e a difusão do ensino propriamente dito, principalmente ao longo da cadeia pré-universitária. A outra componente se reporta à educação da sociedade como um todo para a consciência científica, em seus vários setores de mútua interpenetração.

Esta última tem uma natureza mais complexa, visando integrar o uso da ciência em setores não ortodoxos do tecido social, desde o cidadão comum até o empresário ou o político, passando pelas várias camadas intermediárias da administração e da burocracia. Trata-se de um projeto mais amplo que depende de um trabalho conjunto de todas as áreas da ciência e de seus preceptores nas diversas agências governamentais e privadas.

A primeira componente tem estrutura mais simples e direta em seus métodos e objetivos, mas nem por isto admite soluções simplórias e de efeito imediato. Muito se tem tentado equacionar os problemas relacionados com o ensino da Matemática, principalmente na escola primária e média. Como apontamos mais acima, a situação da Matemática no ensino público não apresenta um quadro melhor do que o da deterioração geral do nível deste ensino. Uma formação mínima em matemática elementar é essencial para qualquer cidadão, sob pena de ficar condenado a ser um cidadão de segunda classe, sem acesso a um emprego que melhore a qualidade de sua vida. O aluno (resp. cidadão) pode ter uma formação deficiente em certas disciplinas ou assuntos da vida moderna, mas nada será tão grave como uma deficiência em matemática uma vez que esta é progressiva e alienante.

O exame Nacional de Cursos (ENC-2000) e o sistema de avaliação de cursos (SAEB) põe em evidência uma situação preocupante. O primeiro, com público alvo graduandos de matemática revelou a alarmante realidade de que 88,2% dos participantes obtiveram, numa escala de zero a dez, conceito menor do que 2,24. O SAEB, levado a efeito nos anos 85, 97 e 99, expôs um tecido deficiente no ensino médio: alunos da terceira série obtiveram em média apenas 50% de aproveitamento das questões, apontando para uma grande ineficácia do ensino da Matemática.

A comunidade matemática, em seus segmentos mais significativos, preocupa-se com esta situação e quer um diálogo profundo com o setor pú-

blico e governamental, envolvendo outros segmentos da sociedade. Este diálogo tem de ser cândido, sem predisposições rígidas de qualquer dos segmentos, sem o que não será possível determinar objetivos concretos a médio prazo. A educação matemática é vocação inalienável dos matemáticos, sua execução prática é tarefa de todo um exército de pessoas com treinamento adequado. Isto não é um equacionamento do problema, mas ajuda a estabelecer um patamar mínimo para aquele diálogo.

Quanto a outros níveis da política educacional, a situação não é totalmente desastrosa, mas requer intensos cuidados por parte da liderança científica e da atitude governamental. A captação de jovens talentos matemáticos é uma das palavras de ordem mais antigas da área, e não só no País. Além do programa de iniciação científica (PIBIC), comum a todas as áreas do conhecimento, a matemática tem uma vasta experiência em olimpíadas. Inicialmente inédito e sem rival no País (hoje, já seguido por outras áreas como a física), este programa tem sucesso em captar talentos a partir dos bancos do ensino médio, conduzindo-os à graduação e, finalmente, à pós-graduação. Enquanto o PIBIC tem avançado a passos largos, graças a uma política expressiva por parte do CNPq ao longo dos anos, a olimpíada matemática tem se mantido de maneira autônoma pelo esmero e dedicação de um segmento da área, secundado por professores de matemática do ensino médio dotados de visão do processo. A olimpíada está sendo gradativamente institucionalizada, já contando com um organismo próprio (OBM – Olimpíada Brasileira de Matemática), com penetração em vários estados brasileiros e provocando a caça aos talentos espalhados no País. Alguns destes chegam a brilhar em competições internacionais. É preciso que o Estado intervenha com uma política expressiva também neste setor, com uma linha de financiamento permanente – um investimento dos melhores, com retorno seguro.

#### IV. APÊNDICE: MONITORANDO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Entre os anos de 1945 a 1998, instituições nos Estados Unidos elaboraram cerca de 11 relatórios sobre a situação da educação científica no país, especialmente no que tange a matemática. Vários destes foram encomendados pela NSF. Só no ano de 1998, três destes relatórios foram encomendados: *Boyer Report*, *Senior Assessment Panel Report* e *Ehlers Report*.

Estes documentos analisam com detalhe a estrutura vigente da educação matemática e científica, propondo diretrizes gerais de médio e longo alcance. Algumas destas diretrizes foram aplicadas, surtindo efeitos vários em diversas etapas. A preocupação das instituições naquele País com a visível deterioração do modelo educativo está admiravelmente exemplificada

pelo Relatório *Moving Beyond Myths* (1991), encomendado pelo *National Research Council* (NRC) ao que se chamou *Committee on the Mathematical Sciences in the Year 2000*. O Relatório critica a graduação em matemática no País, enunciando uma lista de vários mitos que circulam na percepção pública da matemática: 1) toda a utilidade da matemática já foi descoberta há muitos anos atrás; 2) matemática resume-se a calcular respostas; 3) sucesso em matemática depende só de habilidade, não de trabalho continuado; e, 4) a maioria dos empregos exige muito pouca matemática.

Já o *Douglas Report* (1992) analisou a problemática geral dos programas de doutorado e pós-doutorado nos Estados Unidos (país líder nesta iniciativa acadêmica), introduzindo a classificação de modelos e suas especificidades.

Para se ter uma idéia da dimensão e importância destes Relatórios, bastaria lembrar que o primeiro deles, o famoso *Vannevar Bush Report* (1945) foi o germe da criação da NSF em 1950, após veto preliminar do Presidente Truman.

O *Senior Assessment Panel Report*, por sua vez, elencou em seu painel vários cientistas de fora dos Estados Unidos, com o objetivo de dar uma resposta adequada à “Medida Governamental de Desempenho e Resultados”, cujo objetivo é conclamar as agências de fomento a estabelecer metas estratégicas e avaliar o avanço na direção destas metas. Reproduzimos, aproximadamente, algumas considerações do panelista-matemático Mikhael Gromov, da Universidade de Maryland (EUA) e do Institut des Hautes Études Scientifiques (IHES, França), sobre as possíveis tendências da Matemática para as próximas décadas:

“Primeiramente, a matemática clássica é a busca de harmonia estrutural. Começou com a constatação pelos geômetras gregos antigos de que nosso continuum tridimensional possui uma notável simetria rotacional e translacional que preside as propriedades essenciais do mundo físico... Simetrias não comutativas (além das do grupo rotacional  $O(3)$ ) mais profundas foram descobertas subseqüentemente: Lorenz e Poincaré em relatividade, grupos de *gauge* para partículas elementares, simetria de Galois em geometria algébrica e teoria dos números etc. Uma matemática similar reaparece em nível menos fundamental, por exemplo, em cristais e quase-cristais, em auto-semelhança de fractais, sistemas dinâmicos, mecânica estatística, monodromia de equações diferenciais etc. A busca de simetrias e regularidades na estrutura do mundo permanecerá no coração da matemática pura (e da física). Ocasionalmente (e com frequência, inesperadamente), certos padrões de simetria descobertos por matemáticos terão aplicações práticas e teóricas – vide, por exemplo, a geometria integral na base da tomografia com raios X (CAT scan), a aritmética de números primos permitindo a geração de códigos perfeitos e as representações de dimensão infinita de grupos fornecendo

o *design* de grandes redes de alta conectividade, economicamente eficientes.”

“Segundo, à medida que o corpo da matemática crescia, ele mesmo passou a ser assunto de considerações lógicas e matemáticas, nascendo assim a disciplina da lógica matemática e, depois, a ciência da computação teórica. Esta última está agora no que se poderia chamar fase de envelhecimento, no que absorve idéias da matemática clássica e se beneficia do progresso tecnológico em *hardware*, o que permite a implementação de algoritmos teóricos (a transformada de Fourier rápida e algoritmos múltiplos rápidos são exemplos do impacto da matemática pura em métodos numéricos usados diariamente por engenheiros). Urge a interação da teoria matemático-lógica com outros campos do conhecimento, tais como o projeto da computação quântica, o design molecular baseado no DNA, a formação de padrão em biologia, a dinâmica do cérebro, fornecem outros exemplos. Espera-se que, dentro de décadas, a ciência da computação desenvolva idéias em um nível matemático mais profundo, que será seguido de um avanço radical na aplicação industrial dos computadores, por exemplo, um marco novo em inteligência artificial e robótica.”

“Terceiro, existe uma ampla gama de problemas, tipicamente oriundos da ciência experimental, onde é preciso lidar com grandes quantidades de dados frouxamente estruturados. A matemática tradicional, a probabilidade e a estatística matemática funcionam bastante bem quando a estrutura em questão pode ser desprezada na prática (paradoxalmente, a ausência de organização estrutural e de correlação em nível local resultam em alto grau de simetria global; assim, a lei de Gauss emerge nas somas de variáveis aleatórias). Contudo, freqüentemente, encontramos dados estruturados aos quais a probabilidade clássica não se aplica. Por exemplo, a formação mineralógica de imagens microscópicas de tecidos vivos abriga correlações desconhecidas a ser levadas em conta (o que normalmente vemos não é a imagem real mas o resultado do espalhamento de alguma onda: luz, raio-X, ultrassom, onda sísmica etc). Outros exemplos teóricos aparecem em teoria da percolação, em caminhos aleatórios auto-evasivos (modelando longas cadeias moleculares em solventes). Tais problemas, situando-se a meio caminho entre simetria pura e caos puro, aguardam o surgimento de um novo ramo da matemática. Para avançar, faz-se necessário buscar teorias matemáticas novas para lidar com computadores e uma colaboração estreita com cientistas experimentais (algumas possibilidades concretas são a análise *wavelet* de sinais e imagens, técnicas sofisticadas de espalhamento inverso, análise de escala geométrica e a análise por raio-X da difração de grandes moléculas na forma cristalizada). Por exemplo, um algoritmo eficiente de espalhamento inverso revolucionaria o diagnóstico médico, tornando os aparelhos de ultrassom pelo menos tão eficientes quanto a análise por raio-X.”

De grande interesse para a ciência, em geral, e para a Matemática, em particular, é o *Ehlers Report* (Vern Ehlers é um congressista norte-americano com PhD em física!). Este Relatório focalizou três grandes aspectos: o papel do governo no apoio à pesquisa; o papel do setor privado no apoio à pesquisa; e, a responsabilidade conjunta do governo, indústria e comunidade educadora no fortalecimento da educação matemática e científica. Enunciamos, a seguir, algumas recomendações específicas feitas pelos panelistas:

- importância da pesquisa básica (fundamental);
- a pesquisa básica é prioridade federal;
- a amplitude do apoio federal à pesquisa básica;
- a importância crítica de uma destacada educação matemática e científica;
- criação de oportunidades na educação para a tecnologia;
- a importância do programa de pós-doutoramento;
- informação científica na sociedade.

Um outro Relatório importante foi preparado pela *Society for Industrial and Applied Mathematics*, analisando o papel da Matemática e do matemático na indústria, com várias recomendações específicas.

O conjunto destes relatórios mostrou-se importante na confecção de uma política sistemática para C&T, especialmente no que diz respeito ao papel da ciência fundamental no avanço geral da sociedade. A monitoração da C&T, por solicitação das instituições e execução pela própria comunidade científica, pode ser de grande valia para o progresso como um todo, pelas suas recomendações implementáveis. Exceto por algumas tentativas no passado, basicamente mal sucedidas, a presente iniciativa do MCT aponta para a possibilidade de uma auto-monitoração séria da comunidade científica.

## Os Autores

ARON SIMIS (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Matemática pela Queen's University, Kingston (Ontario, Canadá) e professor na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

CARLOS TOMEI. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor pela Universidade de New York (EUA) e professor na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ).

NELSON MACULAN FILHO. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e professor na mesma universidade.

SUELY DRUCK. É doutora pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) e professora na Universidade Federal Fluminense (UFF).



*Academia Brasileira de Ciências*

# Área de Ciências Químicas

ANGELO DA CUNHA PINTO  
ALFREDO ARNÓBIO S. DA GAMA  
ELIAS AYRES GUIDETTI ZAGATTO  
MASSUO J. KATO

## INTRODUÇÃO

A avaliação de áreas do conhecimento tem sido feita quase continuamente nos últimos 20 anos, tornando-se um tema recorrente na ciência brasileira.

Fazer diagnósticos, identificar objetivos e a partir destes propor estratégias de desenvolvimento pode ser, muitas vezes, uma atividade individual lastreada em dados qualitativos e quantitativos mas também em opiniões. Pode também ser um exercício coletivo, no qual se ganha uma maior representatividade mas se perde em nitidez do diagnóstico, pela necessidade de conciliar opiniões. Seja individual ou coletivo, esse exercício é necessário dentro de uma estratégia de fortalecimento da nação e da ciência brasileira, visando romper o nexo de desigualdade que nos separa dos países industrializados.

Para a elaboração deste documento recorreu-se aos artigos recentes de avaliação da área de Química publicados por Riveros<sup>1</sup> e por Galembeck<sup>2</sup>, aos livros de resumos das reuniões anuais da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) e da “American Chemical Society” (ACS). Foram ouvidos alguns destacados membros da comunidade química, especialmente jovens talentosos e por isso promissores que vivem o dia-a-dia da pesquisa em seus laboratórios, e definem hoje os contornos da Química brasileira dos anos próximos.

Dada a complexidade da área de Química que, por ser central e básica para outras áreas do conhecimento torna difícil a delimitação de suas fronteiras, optou-se pela divisão feita por Galembeck no seu artigo publicado em “Science in Brazil”<sup>2</sup>, ao invés da divisão tradicional ainda hoje adotada pela maioria dos institutos de química das universidades brasileiras.

Por outro lado, há duas características da ciência brasileira que estão muito presentes no caso da Química, e que devem ser lembradas nesta análise. Em primeiro lugar, a ciência brasileira é feita principalmente em órgãos mantidos pelo poder público, em especial a universidade pública. Por outro lado, o *locus* principal da prática da pesquisa nas universidades são os cursos

de pós-graduação, em que pese a relevância da iniciação científica e da incipiente prática do pós-doutorado.

Portanto, a detecção das tendências dos indicadores da pesquisa química pode ser feita de maneira muito conveniente e bem fundamentada em dados rigorosos, utilizando os dados recolhidos nas sucessivas avaliações da pós-graduação, realizadas pela Capes.

## A PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

Os dois fatos mais importantes para o desenvolvimento da pós-graduação em Química, no Brasil, ocorreram no início dos anos 60 e dos anos 80. O primeiro foi a criação do Funtec, no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (hoje BNDES), quando este passou a subvencionar programas de PG e atividades de pesquisa fundamental. O segundo, em 1984, foi a criação do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), que definiu a Química e a Engenharia Química como uma de suas áreas prioritárias para financiamento. O grande impacto do PADCT nessas áreas foi demonstrado por Castro e Prescott<sup>3</sup>.

Dentre algumas avaliações recentes da pós-graduação em Química no Brasil, pode-se destacar as que foram feitas por Brocksom e Andrade<sup>4</sup> e por Gama e cols<sup>5</sup>. Estes autores descrevem em seus artigos as metodologias empregadas pelo Comitê da Capes, e as importantes alterações introduzidas nas últimas avaliações.

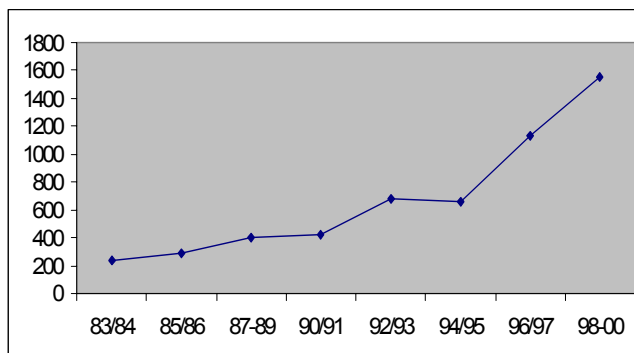
Na última avaliação da Capes, biênio 98-00, observa-se que a Química continua crescendo de forma muito rápida, tendo destaque aumentos no número de doutores titulados e no número de artigos científicos publicados em periódicos científicos de circulação internacional.

Os quadros e tabelas que são mostrados a seguir oferecem um panorama atual da pós-graduação em Química.

### PUBLICAÇÕES/ANO

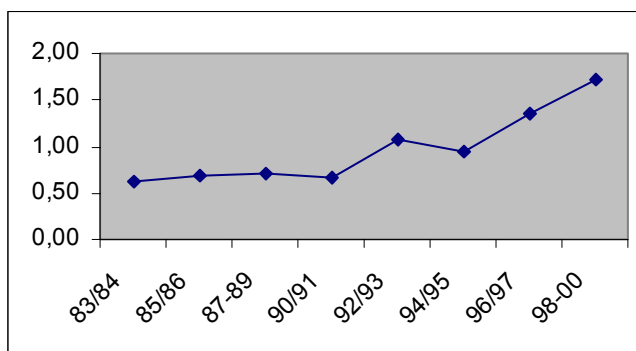
A Figura 1 mostra que o número anual de publicações produzidas pelos cursos de pós-graduação mais do que sextuplicou, no período de 1983 a 2000.

Este aumento foi em grande parte devido ao aumento na produtividade *per capita* dos docentes, que está mostrada no gráfico da Figura 2. Esta produtividade triplicou, o que pode ser atribuído ao amadurecimento dos docentes mas também ao aumento na dimensão e qualidade da população de estudantes.



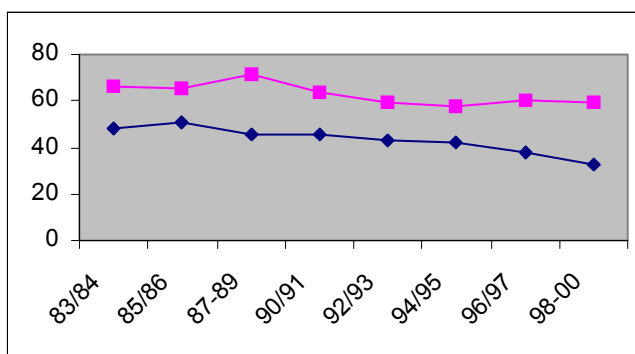
**Figura 1.** Número anual de publicações dos cursos de pós-graduação em Química, nos sucessivos períodos de avaliação da Capes

PUBLICAÇÕES/DOCENTE/ANO



**Figura 2.** Produtividade dos docentes dos cursos de pós-graduação em Química, nos sucessivos períodos de avaliação da Capes

TEMPOS MÉDIOS DE TITULAÇÃO (EM MESES)



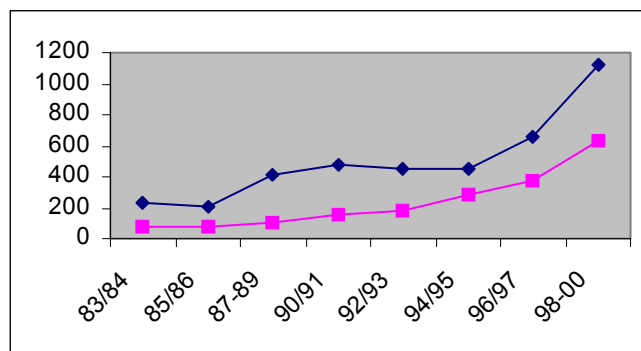
**Figura 3.** Tempos médios de titulação de doutores (♦) e mestres (◇)

Os tempos médios de titulação continuam elevados, mas têm mostrado uma tendência de decréscimo. Este indicador tem de ser lido com muita atenção, porque ele pode tratar como insucessos casos de grande sucesso.

Por exemplo, os de doutorandos que consigam uma posição estável, seja em universidade ou em empresa, ainda antes de obter o seu título. Isso lhes dá a oportunidade de usarem a qualificação já obtida, mas se torna a causa de um atraso na obtenção do título. Por isso, esses casos aparecem nos quadros estatísticos sendo interpretados como maus resultados, quando de fato podem ser casos positivos. À medida em que as empresas se tornem empregadores mais importantes de pós-graduados, a frequência deste tipo de situação tenderá a aumentar, e isto será positivo.

#### EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE PÓS-GRADUADOS

Os números de mestres e doutores formados por ano aumenta muito rapidamente, como mostra a Figura 4. Esse aumento é uma evidência do vigor do sistema e mostra que o potencial de pesquisa química aumenta expressivamente. Por outro lado, um aumento de oferta sem um correspondente aumento de demanda poderá criar uma situação muito negativa. Neste momento, há muitas demandas insatisfeitas, seja no sistema de ensino superior, seja nos institutos de pesquisa oficiais. Além disso, a pequenez das atividades de P&D nas empresas não as torna empregadoras importantes. Essa situação pode ser revertida, utilizando adequadamente instrumentos como os Fundos Setoriais, para fomentar a incorporação de jovens doutores às universidades, institutos de pesquisa e empresas.

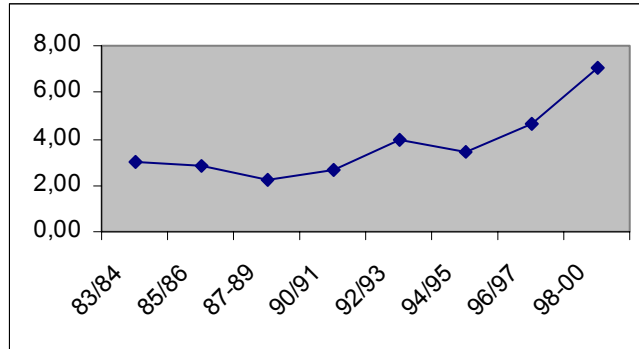


**Figura 4.** Número anual de concluintes dos cursos de pós-graduação em Química, nos sucessivos períodos de avaliação da CAPES.  
Doutores (•) e mestres (◇)

#### PUBLICAÇÕES INTERNACIONAIS/PUBLICAÇÕES NACIONAIS

A relação entre o número de publicações em periódicos internacionais e nacionais está apresentada na Figura 5, e mostra um importante crescimento. Isto significa que a produção científica química brasileira tem uma

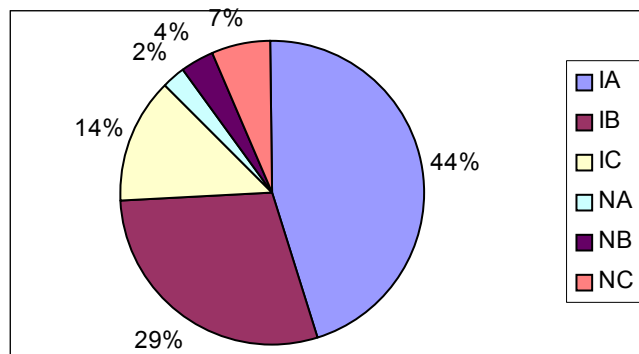
crecente inserção internacional, e atende cada vez mais aos padrões mundiais de qualidade de publicações.



**Figura 5.** Relação entre os números de publicações em periódicos internacionais e nacionais

DISTRIBUIÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DE ACORDO COM A CLASSIFICAÇÃO DOS PERIÓDICOS (QUALIS-QUÍMICA)

As publicações são veiculadas, em mais de 40%, em revistas que estão classificadas no extrato mais elevado do sistema Qualis, como está mostrado na Figura 6, e quase 90% das publicações são feitas em revistas reconhecidas pelo sistema. Isto significa que o padrão de qualidade das publicações é, na esmagadora maioria, de qualidade internacional.



**Figura 6.** Distribuição das publicações em periódicos entre as categorias de revistas, segundo o sistema Qualis

Os gráficos das Figuras 1 a 6 foram construídos utilizando os dados numéricos da Tabela 1, que apresenta os indicadores relevantes para uma análise da pós-graduação no Brasil. As séries temporais contidas na Tabela 1 permitem que se faça duas afirmações: em primeiro lugar, todos os indicadores do sistema crescem. Em segundo lugar, os indicadores *per capita* são

responsáveis por uma parte importante do crescimento, isto é, este está baseado em ganhos de produtividade mais do que na simples expansão física do sistema. Finalmente, é muito importante notar que o crescimento absoluto e *per capita* da pós-graduação brasileira prosseguiu acelerado nos anos 90, que foram um período de pequeno crescimento dos corpos docentes das universidades públicas, que por sua vez sediam a quase totalidade da pós-graduação em Química. Portanto, ele evidencia um processo de qualificação da universidade pública, não apenas pela expansão da pós-graduação em si, mas pelo grande aumento na sua produção científica e na sua inserção mundial.

### EVOLUÇÃO DOS INDICADORES GERAIS DA PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

Períodos	83/84	85/86	87-89	90/91	92/93	94/95	96/97	98-00
Número de docentes	376	422	565	624	637	704	842	906
Número de discentes	875	1149	1660	2018	2347	2059	2981	3208
Mestres titulados	226	212	411	476	457	446	664	1124
Mestres titulados/ano	113	106	137	238	229	223	332	374,7
Doutores titulados	75	81	109	157	178	279	380	631
Doutores titulados/ano	37,5	40,5	36,3	78,5	89	140	190	210,3
Tempo de titulação/mestrado	48	51	46	46	43	42	38	33
Tempo de titulação/doutorado	66	65	71	64	59	58	60	59
Publicações nacionais	119	152	368	226	276	299	399	580
Publicações nacionais/ano	59,5	76	123	113	138	150	200	193,3
Publicações internacionais	358	427	830	610	1090	1024	1870	4078
Publicações internacionais/ano	179	214	277	305	545	512	935	1359
Total de publicações	477	579	1198	836	1366	1323	2269	4658
Total de publicações/ano	238,5	290	399	418	683	662	1135	1553
Publicações/docente/ano	0,63	0,69	0,71	0,67	1,07	0,94	1,35	1,71
Publicações intern./nacionais	3,01	2,81	2,26	2,70	3,95	3,42	4,69	7,03
Alunos/docente	1,7	2,04	2,35	2,24	2,58	2,2	3,54	3,2

### PANORAMA ATUAL DOS PRINCIPAIS SETORES DA PESQUISA QUÍMICA BRASILEIRA

#### QUÍMICA ANALÍTICA

Nobrega e cols<sup>6</sup> apresentaram um panorama da Química Analítica (QA) no período de 1974-1994, tomando por base os trabalhos apresentados, a partir de 1977, nas reuniões anuais da SBQ e nos Encontros Nacionais de Química Analítica (ENQA), que ocorrem a cada 2 anos, desde 1982.

Química Analítica pode ser considerada comum a todas as sub-áreas da Química e de grande importância para todas as ciências naturais, especialmente as ciências do ambiente e dos materiais. Afinal, a natureza é formada por moléculas e para compreendê-la temos de conhecê-la em nível

molecular. À Química Analítica conectam-se diferentes disciplinas, como por exemplo: a Físico-Química, Bioquímica, Cinética, Espectroscopia Ótica, Métodos de Separação, Toxicologia, Geoquímica, Ciências Forenses etc.

No temário do evento “EUROANALYSIS XI”, um dos maiores congressos mundiais em QA, realizado em setembro de 2002, os seguintes tópicos são os dominantes:

- Química bioanalítica, técnicas genéticas
- Sistemas complexos, química ambiental, diagnose médica
- Genômica, proteômica
- Análises discriminatórias rápidas (“high-throughput screening analysis”)
- Quimiometria (ênfase em “chemical imaging”)
- Aspectos de instrumentação: nanoanalítica, “lab-on-the-chip”
- Análises de processos (industriais): “on-line, in-line, at-line”
- Novos campos da QA
- QA e administração
- Qualidade, metrologia
- Arte, história
- Aspectos educacionais, terminologia

Considerando-se que estes são realmente os aspectos importantes ao desenvolvimento da QA para os próximos anos e salientando-se a tendência mundial em direção à química limpa (“green chemistry”- reagentes menos tóxicos e menor geração de resíduos), reuniram-se estes tópicos em três grandes grupos:

*Aspectos teórico/conceituais:* o Brasil tem-se destacado nas pesquisas referentes a este item, em especial aquelas contemplando novos desenvolvimentos em Quimiometria (inclusive modelagem) e propostas instrumentais conceitualmente inovativas. Neste sentido, destaque deve ser dado ao desenvolvimento de sensores e biosensores.

*Aspectos metodológicos:* novos métodos em QA tem sido exaustivamente desenvolvidos, a maioria apresentando nítida vantagem face aos previamente existentes. Entretanto, poucos têm sido valorizados a ponto de se constituírem em normas analíticas. Analogamente, novos instrumentos com características superiores aos comercialmente disponíveis têm sido projetados, apresentados e valorizados pela comunidade internacional. Entretanto, poucos têm sido aproveitados pela indústria, mesmo a nacional.

*Aspectos aplicativos:* a aplicação da QA se verifica em diversos níveis, frequentemente em interação com outras áreas da Química ou mesmo de

ciências afins. Reveste-se de importância o emprego da QA em estudos ambientais, em ciências de materiais, de diagnose clínica, em análises sensoriais, em metrologia, em isotopia aplicada etc.

O Brasil possui grupos de pesquisas de grande competência acadêmica e reconhecimento internacional em cromatografia gasosa, cromatografia líquida de alta eficiência e espectrometria de massas que estão difundidos por algumas universidades, algumas fora do eixo Rio-São Paulo. É de se destacar a presença, também, de pesquisadores qualificados e de instrumental analítico moderno em centros de pesquisa e desenvolvimento do setor privado. O Centro de Pesquisas da Petrobrás (Cenpes) é considerado centro de excelência em Geoquímica Orgânica, sendo referência para toda a América Latina. Os pesquisadores deste vêm, inclusive, prestando serviços de análise para companhias petrolíferas do continente.

Por outro lado, não há evidências claras de que haja na QA brasileira um aproveitamento significativo das muitas novas oportunidades abertas pelos muitos e rápidos desenvolvimentos na Genômica, Proteômica e atividades correlatas.

#### ELETROQUÍMICA

A Eletroquímica é um dos domínios mais consolidados da Química brasileira e um dos mais próximos ao estado da arte internacional. O número de eletroquímicos de expressão internacional é grande, tanto os que vêm se dedicando aos aspectos teóricos, como aos práticos dessa disciplina. As linhas de pesquisa mais importantes são: corrosão, eletrodeposição e tratamento de superfícies, desenvolvimento e desempenho de novos eletrodos e aspectos fundamentais da eletroquímica<sup>7</sup>.

A comunidade de eletroquímica tem organizado regularmente o Simpósio Brasileiro de Eletroquímica e Eletroanalítica (SIBEE). O último SIBEE ocorreu, em 2001, em Porto-Alegre/RS. Existe um engajamento significativo de pesquisadores em temas que despertam grande interesse em todo o mundo: células de combustível, novas baterias “verdes” e eletrólitos sólidos.

#### QUÍMICA DE MATERIAIS

A Química de Materiais apresenta notável crescimento nos últimos 15 anos. Um dos fatores para este crescimento foi a criação do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), que tem oferecido a grupos brasileiros e estrangeiros recursos sem similar na América Latina.



Esta área conta hoje com grupos de excelente nível, mantendo em várias regiões do País atividades e temáticas originais, comparáveis às daqueles grupos atuando nos melhores laboratórios da Europa e Estados Unidos<sup>8</sup>. Existe também um significativo intercâmbio entre pesquisadores de universidades com os de empresas, do qual já resultaram produtos de alta tecnologia, colocados nos mercados nacional e internacional.

Os progressos e as perspectivas de novos materiais, com enfoque na área de Química, podem ser vistos no excelente artigo de Galembeck<sup>9</sup>.

#### QUÍMICA DE PRODUTOS NATURAIS

A Química de Produtos Naturais é a subárea que congrega o maior número de pesquisadores de toda a Química brasileira.

As principais atividades em Química de Produtos Naturais no Brasil estão sendo realizadas com o objetivo de descrever novos produtos de sua rica biodiversidade vegetal. Trata-se de uma pesquisa básica que tem possibilitado a formação de recursos humanos e a manutenção dessa escola das mais tradicionais. Com o advento das modernas técnicas de determinação estrutural (RMN e EM) que permitem também analisar misturas complexas, o acesso à diversidade estrutural tem sido cada vez mais rápido. Além disso, estudos relacionados à atividade biológica de extratos obtidos de plantas, medicinais ou não, também têm aumentado consideravelmente. Assim, a vantagem competitiva do Brasil em possuir tamanha biodiversidade e, a partir dela, obter acesso a uma fatia maior do mercado farmacêutico e de nutracêuticos, constituem-se nos principais desafios atuais.

Por outro lado, os principais periódicos na área de Fitoquímica vêm alterando sua política editorial no sentido de privilegiar trabalhos envolvendo biossíntese, regulação, biologia molecular, atividade biológica e assuntos correlatos, considerando que os trabalhos de descrição estrutural tornaram-se corriqueiros. Conseqüentemente, trabalhos em fitoquímica clássica têm contribuído de maneira minoritária para elevar os seus índices de citação e o grande conjunto das publicações na área de química de produtos naturais, tanto no Brasil como os oriundos de outros países, assumiram importância quase que secundária.

Um diagnóstico claro que pode ser tomado, como indicativo das tendências dos trabalhos em química de produtos naturais no Brasil, pode ser obtido comparando-se os trabalhos divulgados na Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Divisão de Química de Produtos Naturais com o “Annual Meeting of the Phytochemical Society of North America (PSNA)”. O tema deste ano da reunião da PSNA foi “Phytochemistry in the genomics and pos-genomics era”, sendo que a grande maioria dos tópicos abordados

refletiam o grande avanço das técnicas e como esse domínio tem sido utilizado para o estudo do metabolismo secundário. De uma forma geral, os trabalhos objetivaram a compreensão de um sistema biológico completo através do domínio das técnicas de expressão simultânea dos conjuntos de genes (microarrays de DNA) (transcriptoma), da análise das proteínas codificadas (2-DEPAGE e MALDI-ToF/MS<sup>n</sup>) (proteoma) e, agora, sendo complementada pela obtenção do perfil de metabólitos secundários (metaboloma). Nada mais previsível, considerando que a biossíntese de metabólitos secundários é regulada pela expressão gênica. Esses perfis têm sido obtidos a partir do uso de técnicas multidimensionais de alta eficiência tais como CG/EM e CLAE/EM, técnicas disponíveis em muitos laboratórios no Brasil. Assim, tem-se associado determinados genes e enzimas na composição de determinados metabólitos secundários, dentro de uma determinada via biossintética. Há uma expectativa de que tais resultados possam ser aplicados à agricultura, aos estudos de fisiologia vegetal, à ecologia e, finalmente, ao estudo das plantas transgênicas. Observa-se, assim, uma perspectiva até certo ponto surpreendente, que é contrária à da polarização inicialmente esperada entre a era genômica e a clássica atividade fitoquímica.

Outra constatação importante, é que nos EUA os financiamentos da pesquisa na área de produtos naturais não contemplavam estudos fitoquímicos exclusivos, obviamente porque a biodiversidade na América do Norte não justificaria tais investimentos. No entanto, em função da grande explosão do uso de fitoterápicos, considerados complementos alimentares, e cada vez mais assumindo espaço na saúde e na economia, vultuosos investimentos estão sendo feitos no sentido de avaliar a eficácia de tais produtos através do desenvolvimento de metodologia que garantam a segurança de seu consumo.

No Brasil, os avanços observados têm sido expressivos na área genômica, após o seqüenciamento completo dos genomas da *Xyllela fastidiosa* (bactéria causadora da praga do amarelinho) e do *Xanthomonas citri* (causador do cancro cítrico), que foram os primeiros a serem descritos. A decisão política de financiar o domínio das modernas técnicas biotecnológicas causou excelente impacto mundial, e tem-se agora a expectativa de iniciar os programas relacionados ao proteoma. Diante das tendências mundiais, é certo que deveremos complementar esse ciclo de estudos através do investimento também na etapa do metaboloma. A questão que se coloca é quando iniciar e quais seriam as demandas de recursos humanos e financeiros. Como agrupar equipes de especialistas em um tema central de pesquisas e quais seriam os problemas a serem equacionados?

A grande expectativa nas pesquisas em Química de Produtos Naturais é o estabelecimento de programas multidisciplinares que tenham como objetivos a utilização de nossa capacidade instalada, visando a resolução de pro-

blemas nacionais. Os focos devem contemplar o estudo da biodiversidade associado à busca de soluções para combater doenças tropicais, pragas agrícolas, e outros males mundiais como o câncer, AIDS etc. Esse objetivo não poderá ser atingido sem que o estudo de mecanismos de ação dos produtos com atividade biológica seja eficientemente realizado. Nesse aspecto, o País conta com especialistas também em cristalografia e em modelagem molecular envolvidos no estudo dos sítios ativos em enzimas e o planejamento racional de fármacos. O redirecionamento das atividades de pesquisas nas áreas correlatas poderá ser feito mediante a tomada de decisões políticas com planejamento e investimentos de recursos a médio e longo prazo. O intercâmbio com outros laboratórios no exterior e mesmo dentro do país seria de extrema importância, no sentido de capacitar centros com a finalidade de executar tarefas específicas. O País e a comunidade científica possuem hoje todos os requisitos para essa nova fase e têm o desafio, dentro dessa perspectiva genoma-proteoma-metaboloma, de buscar um modelo de pesquisas envolvendo o desenvolvimento da pesquisa básica, que possa gerar resultados em prol das necessidades da sociedade.

A comunidade de Química de Produtos Naturais e a Associação de Usuários de Ressonância Magnética Nuclear (AUREMN) podem ser consideradas como as grandes responsáveis pela explosão da técnica de RMN no Brasil. Graças sobretudo a AUREMN, que tem trazido ao País os maiores especialistas do mundo em RMN, o Brasil possui hoje grupos de pesquisa envolvidos em, praticamente, todas as principais áreas de atuação em RMN, a saber: Química e todas as suas sub-áreas, Física, Bioquímica, Imagens e *in vivo*, levando o país à incontestável liderança da pesquisa em RMN na América Latina <sup>10</sup>.

No domínio da Química de Produtos Naturais de organismos marinhos constata-se com muita satisfação a consolidação de grupos coordenados por pesquisadores jovens de muito futuro. As linhas de pesquisa destes grupos visam a descoberta de substâncias biologicamente ativas, em diferentes bio-ensaios (anti-cancerígeno, anti-bacteriano contra microorganismos resistentes à antibióticos, anti-inflamatórios) e de substâncias com implicações ecológicas, como por exemplo, anti-incrustantes.

Graças ao talento e as destacadas contribuições do professor Otto Gottlieb em ecogeografia e evolução e sistemática de metabólitos secundários de plantas, o Brasil está na vanguarda do conhecimento no desenvolvimento de métodos originais de Fitoquímica e Biodiversidade quantitativas, de enorme importância para a compreensão dos padrões e dos mecanismos de funcionamento da natureza.

## SÍNTESE ORGÂNICA

A Síntese Orgânica no Brasil teve um início bastante modesto, na década de 50, na Universidade de São Paulo. Na USP foram realizados trabalhos pioneiros na área de química orgânica de compostos de selênio e de telúrio, considerados naquela época uma mera curiosidade química, pela simples razão de que nada se sabia sobre eles.

Atualmente várias das reações descobertas no Instituto de Química da USP podem ser encontradas em qualquer compêndio de química orgânica sintética. Exemplo disso é a selenociclização de substratos insaturados<sup>11</sup>.

Hoje, há no Brasil uma comunidade de químicos orgânicos sintéticos atuante e competitiva em nível internacional, ainda que reduzida para as necessidades do País. Apesar de existirem poucos grupos consolidados, estes publicam seus trabalhos nos melhores periódicos da área e têm o reconhecimento de seus pares no exterior<sup>12</sup>.

## FOTOQUÍMICA

Dentre as novas linhas de pesquisa em Fotoquímica podemos citar os estudos de processos cinéticos de estados eletrônicos excitados com alta resolução temporal aliada a uma resolução espacial. Nesta linha estão incluídos os estudos de sistemas nanoscópicos artificiais e naturais, tais como partículas de polímeros, metais, óxidos, sistemas supramoleculares, colóides, proteínas, centros de reação em fotossíntese, e fotoreceptores biológicos. São de interesse estratégico nesta linha de pesquisa os estudos de processos fotoinduzidos de transferência de energia e de carga (elétron ou próton), isomerização, e geração e reação de radicais químicos. Neste particular, a área de Fotoquímica passa a se integrar ao tema amplo de pesquisa em Nanotecnologia, e a área de Fotobiologia torna-se importante para os avanços em Biotecnologia.

Um ponto importante para o desenvolvimento destas novas áreas é a utilização de técnicas experimentais refinadas, tais como a microscopia óptica confocal e microscopia óptica de campo-próximo, usualmente acopladas a métodos temporais como a fluorescência por pulsos de laser ultra-rápidos. Medidas de transientes por absorção ou interferência e a técnica de sobre-conversão de fluorescência permitem estudar processos moleculares com resolução em subpicossegundos.

Atualmente, existem vários grupos de pesquisa em Fotoquímica e Fotobiologia no Brasil (em torno de 12 grupos). As pesquisas realizadas em Fotofísica e Fotoquímica abrangem temas vinculados à química orgânica, inorgânica, bioquímica, polímeros e colóides. Os estudos aplicados envolvem pesquisas em células de conversão de energia solar, fotopolimerização,

terapia fotodinâmica, e muitos outros.

Apesar da boa abrangência em temas e da competência nas várias áreas citadas, existe um certo descompasso com os atuais níveis de pesquisa em Fotoquímica e Fotobiologia, mais particularmente em relação às novas técnicas e metodologias experimentais citadas anteriormente. Seria também muito interessante desenvolver pesquisa em fotoquímica de sólidos e fotoreações assimétricas, em reações fotoquímicas em superfícies ordenadas, em espectroscopia e fotoquímica monomolecular, e em métodos de excitação molecular não linear (absorção de dois fótons e dinâmica de estados excitados superiores).

## CONCLUSÕES

A Química foi, na última década, a área do conhecimento que mais cresceu no Brasil, tanto em quantidade como em qualidade. A evolução da Química pode ser comprovada por quaisquer indicadores que se empreguem para medir e avaliar o crescimento da ciência e.g. número de diretórios de pesquisa do CNPq, número de cursos de pós-graduação com qualidade reconhecida, número de estudantes matriculados no Doutorado, número de Doutores formados, qualidade da produção científica produzida e, principalmente, qualidade e aceitação das revistas científicas editadas no país de circulação internacional. Os químicos souberam responder aos estímulos que receberam e ao mesmo tempo vencer as dificuldades que tiveram de enfrentar. Um ponto, no entanto, permanece crítico - o pequeno dispêndio de recursos, por parte da indústria, para ciência e tecnologia. Falta ao País tão pródigo em copiar e importar modelos, o exemplo de homens da indústria, tais como John D. Rockefeller, George Eastman, Pierre du Pont e muitos outros, que estabeleceram uma verdadeira corrida para desenvolver ao máximo a educação básica, as universidades, a ciência e as artes nos Estados Unidos, levando-o a ser a nação mais rica do mundo.

O salto para o futuro dependerá de maiores investimentos em C&T, em ordem de grandeza muito superior ao que vem sendo feito hoje.

Se cada doutor formado atualmente recebesse o mesmo volume de recursos que era concedido tradicionalmente na década de 70 pelas diversas agências de financiamento à pesquisa, o Brasil estaria entre as 10 nações líderes em produção científica. No entanto, se isto não vier acompanhado de políticas sociais, o País não se livrará do subdesenvolvimento. A Fapesp mostrou o caminho que levou o Estado de São Paulo ao topo da ciência brasileira. A distância que separa SP dos outros estados é igual ou maior do que a que existe entre o Brasil e os países industrializados.

## RECOMENDAÇÕES

1. Estímulo ao doutorado pleno no exterior em países de língua inglesa, para as universidades melhores ranqueadas - Cambridge, Oxford e Imperial College em Londres, no Reino Unido e para as “top ten/top fifty” nos EUA, que sempre incluem Harvard, MIT, Stanford, Berkeley e Caltech.

2. Ampliação do programa de apoio tipo “enxoval” para recém-doutores, lançado recentemente pelo CNPq (Profix).

3. Criação, pelo governo federal, de programas nos moldes do PITE (Parceria para Inovação Tecnológica) da Fapesp, que se destina a co-financiar projetos de interesse de empresas, desenvolvidos nas instituições de pesquisa do Estado de São Paulo.

4. Interromper o modelo de séries históricas, adotado pelo CNPq, que não permite o aumento do número de bolsas de produtividade de pesquisa para as áreas que têm tido desempenho muito superior ao de outras áreas tradicionais que dominam o sistema desde sua criação.

5. Aumentar o número de bolsas de produtividade de pesquisa do CNPq. Estas bolsas foram um dos instrumentos mais importantes para o crescimento da ciência brasileira. Com a defasagem atual dos salários dos professores universitários, estas bolsas ganharam tanta importância que muitos pesquisadores para não perdê-la transformam suas pesquisas em atividade rotineira para atingirem altos índices de publicação. A Química nesse sentido é uma das áreas mais penalizadas por ter sido uma das que mais cresceu nos últimos 10 anos. Apesar do seu espantoso crescimento, o número de bolsas da área de Química nesse período permaneceu o mesmo.

6. Induzir a associação da Química com as ciências biológicas e da Saúde visando solucionar os grandes enigmas da ciência. Esta é uma tendência internacional.

7. Premiar o depósito de patentes tanto no País como no exterior. Isto não vem sendo feito no Brasil.

8. Garantir recursos para os periódicos científicos da área de Química que estão indexados ao Institute

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. J. M. Riveros “Química”, em A Capacitação Brasileira para a Pesquisa Científica e Tecnológica, S. Schwartzman (org.), FGV (1996).

2. F. Galembeck “Chemical Sciences” em Science in Brazil an Overview, Academia Brasileira de Ciências (1999).

3. L. A. Barreto e E. Prescott “O Impacto do PADCT na Química e Engenharia Química”, Quim. Nova 20, 15 (1997).

4. T. J. Brocksom e J. B. De Andrade “A Evolução da Pós-Graduação em Química no Brasil”, *Quim. Nova* 20, 29 (1997).
5. A. A. S. da Gama, F. J. Nome e J. C. Machado “Avaliação dos Programas de Pós-Graduação em Química no Brasil”, *Quim. Nova* 22, 443 (1999).
6. J. A. Nóbrega, E. A. Neves, F. R. P. Rocha, P. O. Luccas, P. V. Oliveira e S. T. Gouveia “Panorama da Química Analítica Brasileira: 1974 -1994”, *Quim. Nova* 19, 684 (1996).
7. L. A. Avaca, O. P. Márquez e B. R. Scharifker “Editorial”, *J. Braz. Chem. Soc.* 8 (1997).
8. I. S. Moreira, comunicação pessoal.
9. O. L. Alves “Química de Materiais no Brasil: Um Olhar Através das Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química”, *Quim. Nova* 21, 807 (1998).
10. F. Galembeck “Materiais: Progressos e Perspectivas” em *A Importância da Ciência Para o Desenvolvimento Nacional*, Academia Brasileira de Ciências (1997).
11. S. M. C. De Menezes “editorial”, *J. Braz. Chem. Soc.* 10, (1999).
12. M. M. Campos e N. Petraghani “Selenocyclization of Unsaturated Substrates”, *Chem. Ber.* 93, 317 (1960).
13. J. V. Comasseto, R. A. Pilli e F. Simonelli “Editorial”, *J. Braz. Chem. Soc.* 12 (2001).
14. M. G. comunicação pessoal.

## O Autor

ANGELO DA CUNHA PINTO (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e professor no Instituto de Química da mesma universidade.

ALFREDO ARNÓBIO S. DA GAMA. É coordenador da área de química da Capes e professor no Departamento de Química Fundamental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

ELIAS AYRES GUIDETTI ZAGATTO. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Química Analítica pela Universidade de Campinas (Unicamp) e professor no Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (USP).

MASSUO J. KATO. É professor na Universidade de São Paulo (USP).





*Academia Brasileira de Ciências*

# Área de Ciências da Saúde

## Ciência no Brasil: Medicina

MARCO ANTONIO ZAGO

JAIR J. MARI

JOSÉ DA ROCHA CARVALHEIRO

LUIS JACINTHO DA SILVA

PROTÁSIO LEMOS DA LUZ

### **INTRODUÇÃO**

A avaliação do estado da pesquisa médica no País e a projeção de prioridades devem levar em conta a situação especial que o sistema de pesquisa médica ocupa. Em primeiro lugar, há uma superposição ou falta de limites claros quanto às diferentes disciplinas que compõem o núcleo de conhecimentos da Medicina. Divergindo de outras ciências, que têm um domínio disciplinar próprio, a Medicina é uma profissão culta apoiada em ciências (Morfologia, Bioquímica, Genética, Imunologia, Fisiologia, Farmacologia, entre outras). Procuraremos focalizar a atenção principalmente na pesquisa médica relacionada com a medicina aplicada (clínica, cirúrgica e de saúde coletiva), mas a superposição com outras áreas, em especial a Biomedicina, é inevitável e necessária. Por outro lado, do ponto de vista prático, a pesquisa médica desenvolve-se em íntima associação com o ensino (de graduação e de pós-graduação) e com a prática médica em grandes instituições, ao lado de alguns poucos institutos de pesquisa biomédica.

É, pois, complexo fazer um levantamento do sistema de produção de conhecimento em medicina no País, e vamos por isso limitarmo-nos a alguns tópicos mais relevantes, como a interação com o ensino de graduação e de pós-graduação, e com o planejamento e gestão de saúde pública, buscando identificar os principais centros de pesquisa médica, a situação da pesquisa médica no País e os pontos prioritários para intervenção.

### INTERAÇÃO COM O ENSINO DE GRADUAÇÃO

O País conta com 95 faculdades de Medicina, que formam anualmente, cerca de 9.300 médicos, fortemente concentradas nas regiões Sul e Sude-

te (Tabela 1). Apenas uma pequena parcela destas escolas constituem núcleos consolidados de pesquisa médica, identificados pela existência de um grupo de pesquisadores com título de doutor, que publicam regularmente em revistas de impacto e formam outros pesquisadores. Apenas oito das faculdades de Medicina, que podem ser identificadas como os grandes centros geradores de pesquisa científica na área médica, concentram 115 dos 128 pesquisadores da categoria I do CNPq na área de medicina (90%) ou 133 dos 175 pesquisadores das áreas de Medicina, de saúde coletiva e de nutrição (76%). Os restantes 42 pesquisadores estão em nove outras faculdades de medicina e duas instituições de saúde (Fundação Oswaldo Cruz e Faculdade de Saúde Pública da USP) (Tabela 2), de forma que das 95 escolas médicas do País em apenas 16 delas há evidências de atividade de pesquisa científica consolidada.

Considerando-se o papel formativo que a pesquisa e o método científico têm sobre a educação do médico, conclui-se que uma parcela significativa dos médicos brasileiros é formada à margem deste sistema, não estando preparada para liderar ou pelo menos acompanhar e absorver as inovações no setor de saúde, que são altamente vinculadas ao desenvolvimento científico. Neste aspecto, a inovação e o progresso científico e tecnológico são extremamente dependentes da melhora qualitativa do ensino de Medicina, que não pode ser desvinculado da formação científica e geração de conhecimento.

**Tabela 1**

Distribuição das escolas de Medicina e do número de médicos formados anualmente nas diferentes regiões do País

<i>Região</i>	<i>Escolas médicas</i>	<i>Médicos por ano</i>	<i>População</i>	<i>Habitantes por médico formado</i>
Sul	21	1.619	25.089.783	15.497
Sudeste	50	5.463	72.297.351	13.234
Centro-Oeste	5	382	12.772.658	33.436
Nordeste	15	1.532	47.693.253	31.131
Norte	4	353	11.737.648	33.325
<i>Total</i>	<i>95</i>	<i>9.349</i>	<i>169.590.693</i>	<i>18.140</i>

**Tabela 2**

Distribuição de pesquisadores da categoria I do CNPq nas áreas de Medicina, de saúde coletiva e de nutrição em faculdades de Medicina ou institutos de pesquisa médica

**Mais de 10 bolsistas da categoria I do CNPq**

Escola Paulista de Medicina (Unifesp), FM da USP (S. Paulo), FM de Ribeirão Preto da USP, FM da UFMG, Fundação Oswaldo Cruz, FM da UFRJ

**De 5 a 10 bolsistas da categoria I do CNPq**

FCM da Unicamp (Campinas), Faculdade de Saúde Pública da USP, FM da UFRGS, FM da UFBA, FM de Botucatu (Unesp), Universidade de Brasília

**De 1 a 5 bolsistas da categoria I do CNPq**

FM da FFFCMPA/RS, FM de SJ Rio Preto, FMTM (Uberaba), FM da UFBA, UFPE, UFRN, UF Fluminense, UF Pelotas

### INTERAÇÃO COM O ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

A pós-graduação, mais do que o ensino de graduação, vincula-se mais solidamente à pesquisa, pois a implantação e manutenção de um programa de pós-graduação exigem uma massa de orientadores com título de doutor, e a titulação de cada egresso somente pode ser alcançada pela realização de um trabalho de pesquisa. Mesmo assim, em muitos programas ocorre uma grande influência da formação profissionalizante e especialização médica, contribuindo para desviá-los de seus focos básicos: a produção de pesquisa e qualificação de pesquisadores. Dos 178 programas de pós-graduação que obtiveram os conceitos de 4-7 na última avaliação nacional realizada pela Capes, 154 (87%) estão nas mesmas 12 instituições que têm mais do que cinco pesquisadores da categoria I do CNPq nas áreas de medicina, de saúde coletiva ou de nutrição.

O panorama neste caso é também misto: revela um conjunto de instituições que estão executando uma política de estímulo à pesquisa associada à formação de pesquisadores, enquanto mais de metade dos cursos de pós-graduação na área médica estão longe de cumprir sua função central, assumindo em muitos casos uma formação profissionalizante. A correção deste desvio, combinando uma política de restrição aos programas que não satisfazem às exigências mínimas, com incentivo àqueles que procuram atender às metas de incremento de pesquisa, pode ter um grande impacto no aumento da eficiência científica da área médica.

### A PRODUÇÃO CIENTÍFICA NA ÁREA DE MEDICINA

A produção científica da área de Medicina cresceu proporcionalmente mais do que a produção do conjunto da ciência brasileira nos últimos 20 anos: o total de publicações da área médica, que perfazia 10-11% das 2.930 publicações anuais brasileiras no biênio 1981-82, cresceu para 19% das 13.282 publicações no ano 2000, ou seja, um aumento de 7,6 vezes, bem acima do crescimento global da produção científica do País, de 4,5 vezes, superada apenas pelo crescimento das engenharias, de 8,5 vezes. Os índices de avaliação de qualidade também mostram incremento, porém, menos marcante: no biênio 1981-82 as publicações médicas foram responsáveis por 11% das 3.087 a 3.540 citações anuais de artigos brasileiros, enquanto que em 1998 esse valor subiu para 14,3% das 25.301 citações. O crescimento da produção de trabalhos científicos em todas as áreas da Ciência Brasileira foi acompanhado por aumentos variáveis do impacto médio dos trabalhos, variando de 1,05-1,21 citações/trabalho no biênio 1981-82 para 2,16 citações/trabalho em 1998. Neste período, os impactos das publicações na área de Medicina

tiveram uma evolução intermediária quando comparados às outras áreas da ciência, crescendo de 1,16-1,22 citações/trabalho para 1,87 citações/trabalho, desempenho inferior ao da Química e da Biomedicina, mas superior ao das Engenharias e das Ciências Humanas.

**Tabela 3**

Aumento proporcional do número de artigos plenos nos anos de 1999-00 (899 artigos/ano) em comparação ao quinquênio 1981-85 (222 artigos plenos/ano), classificados por área de conhecimento dentro da Medicina.

Hematologia	16,4	Cardiovascular e respiratório	7,0
Odontologia	13,8	Endocrinologia e metabolismo	5,1
Reumatologia	13,5	Dermatologia	5,0
Oncologia	11,7	Medicina reprodutiva	4,5
Imunologia clínica e infecciosas	9,3	<i>Médica global</i>	4,0
Neurologia	9,2	Cirurgia	3,2
Psicologia clínica e psiquiátrica	8,8	Psiquiatria	3,2
Oftalmologia	8,7	Ortopedia e reabilitação	2,2
Gastroenterologia e hepatologia	7,6	Medicina ambiental e saúde pública	2,0
Pediatria	7,2	Medicina geral e interna	0,4
		Serviços de saúde	-

\* A cifra de cada área foi calculada dividindo-se o número de artigos anuais publicados em 1999-00 pelo número de artigos anuais publicados no quinquênio 1981-85

Uma análise da produção médica por área de conhecimento, levando em conta apenas os artigos plenos, mostra um crescimento proporcional de 4 vezes do número de artigos publicados anualmente, quando se comparam os anos de 1999-00 com o período de 1981-85 (Tabela 3). As maiores expansões do número de artigos ocorreram nas áreas de Hematologia, Odontologia, Reumatologia e Oncologia. Crescimentos menores do que o conjunto ocorreram na Cirurgia, Psiquiatria, Ortopedia e Reabilitação, Medicina Ambiental e Saúde Pública, e Medicina Geral e Interna, indicando uma redução da expressão destas áreas dentro do conjunto da Medicina, mas apenas na última houve uma redução do volume de trabalhos, que caíram de uma média de 64 para 38 artigos/ano.

#### INTERAÇÃO COM O PLANEJAMENTO E GESTÃO DE SAÚDE PÚBLICA

- Planejamento e gestão

A pesquisa médica não pode ser desvinculada de sua consequência prática, a transferência do conhecimento para o bem-estar da população. Abordar a questão do bem-estar (físico, mental e social) e dos problemas (individuais e coletivos) equivale a enveredar pela discussão dos conceitos

de saúde e de doença aos quais não se confere sentido absoluto, preferindo-se considerar o processo saúde/doença (S/D). Ainda mais, considera-se que esta complexa relação entre saúde e doença é fortemente influenciada pela natureza dos “cuidados” que se prestam (a doentes e sadios!), conduzindo à idéia atual de saúde/doença/cuidado (S/D/C)<sup>1</sup>. As propostas de intervenção individuais e coletivas (os cuidados), devem ser analisadas tanto da óptica dos benefícios quanto da dos custos, individuais e sociais. Não nos referimos apenas ao custo econômico e financeiro associado diretamente às ações, embora tenha sido esta uma forte tendência pelo menos a partir do início da última década do século XX.

Essas idéias não são recentes. Pelo menos desde meados do século XX, autores de grande prestígio internacional têm trilhado o caminho de identificar os progressos em três campos interligados dos esforços da ciência na área da saúde: identificar de maneira cada vez mais precisa “os problemas”, individuais e coletivos; buscar intensamente as possíveis “respostas”, também individuais e coletivas; e a “organização social” dessas respostas. Esta última é necessariamente coletiva: mesmo organizar a atenção individual para resolver problemas de pessoas singulares é um empreendimento coletivo<sup>2,3</sup>.

A organização dos serviços e sua operação exigem habilidade para lidar com processos administrativos. Embora esta seja essencial, não pode faltar o indispensável complemento do sentido político do processo. Esta questão está em pauta a todo o momento, acusando-se, por exemplo, a administração direta pelas dificuldades na operação do sistema de saúde. As tentativas de escapar dos constrangimentos impostos por esse tipo de administração têm proporcionado um dos principais embates na área, concretizado na perene crítica à criação de alternativas: autarquias, fundações de direito público e de direito privado, companhias mistas, organizações sociais.

Seja qual for o modelo administrativo, a complexidade atual obriga a um esforço de planejar as ações. Segundo diversos autores, uma lógica autoritária e centralizadora consiste em planejar de maneira normativa no nível central do sistema de saúde, deixando a execução para a rede de serviços (normatização central e execução descentralizada). Uma proposta mais participativa é a do planejamento estratégico (situacional) que se dá em todos os níveis do sistema, numa forte interação entre o poder técnico e o poder administrativo. O poder político é o outro elemento do tripé. As tomadas de decisão geralmente se valem de contribuições dos âmbitos administrativo e técnico. Porém, as decisões finais são eminentemente políticas. Esta é uma área de pesquisa que tem avançado intensamente nos últimos tempos, especialmente em produção apresentada em congressos científicos da área de saúde coletiva. Existem redes internacionais de investigação dedicadas inteiramente à questão da formulação de políticas de saúde e aos modelos de investigação em serviços e sistemas de saúde<sup>4</sup>.

- As movimentações recentes: o Fórum Global e o “gap” 10/90

Desde pelo menos o início da década de 90 tem havido um incessante esforço internacional para discutir a questão da organização de uma “agenda necessária” de pesquisa para ser oferecida a um Terceiro Mundo sequioso por desenvolver-se. No âmbito das nações, os esforços devem levar em conta as necessidades relacionadas à saúde, problematizadas sob a óptica do desenvolvimento econômico em suas íntimas relações com o bem-estar dos povos.

Com relação à saúde há um movimento internacional que busca resgatar a dívida com o Terceiro Mundo, através da P&D, partindo da idéia de que mais de US\$ 60 bilhões são empregados anualmente no mundo todo pelos setores público e privado na pesquisa em saúde. Desses vultosos recursos financeiros, apenas 10% são destinados à pesquisa em doenças que afetam 90% da humanidade. A essa brecha na pesquisa em saúde denomina-se, abreviadamente, “gap 10/90”. Vencer essa brecha é tarefa a que se propõe o *Global Forum for Health Research*, sediado em Genebra<sup>5</sup> e importante incentivador do debate nessa área tão polêmica. A situação não é tão simples, em vista do que se identifica como “agenda inconclusa” e como “duplo fardo” dos países subdesenvolvidos, que ainda não resolveram os problemas de saúde tradicionais ligados às doenças transmissíveis e já se vêem atingidos pelos problemas “modernos” das doenças crônico-degenerativas e das causas externas, especialmente as decorrentes da violência urbana. O lema do Fórum Global dá bem uma idéia de seus objetivos: “Promovendo Pesquisa para Melhorar a Saúde dos Pobres”. Um de seus esforços focaliza a discussão sobre as vantagens das diversas metodologias propostas para identificar as prioridades em pesquisa em um contexto dado (no caso em tela, adequadas ao terceiro mundo). Reconhecendo que diversas abordagens não se contrapõem mas se complementam, apresenta um “modelo eclético” que aproveita o que têm de melhor. Seja qual for o método preconizado para identificar as prioridades em pesquisa, estará inevitavelmente associado a algum procedimento que estabeleça o elenco dos principais problemas de saúde. Previsivelmente, os diversos métodos identificam listas de prioridades muito semelhantes, que acabam por considerar-se (em seu conjunto) como “a lista” adequada para incentivar a pesquisa que sirva para “melhorar a saúde dos pobres”.

- “Carga da doença”, uma proposta que ganha força:  
a hierarquia das necessidades

Em meados do século XX, os “Indicadores de Saúde” constituíam um capítulo especial em todos os textos didáticos de Epidemiologia, Estatísticas Vitais e Saúde Pública. Numa sempre mencionada contradição lógica, a

morte foi sempre o evento mais usado como maneira de medir o estado de saúde. Se a morte é evento singular e individual, seu equivalente coletivo, a mortalidade, refere-se ao grupo populacional em foco. Este caráter dialético das médias (neste caso, um coeficiente) foi bem explorado pelo filósofo Álvaro Vieira Pinto em seu clássico “Ciência e Existência”, de 1969. A mortalidade geral, a mortalidade infantil, a mortalidade materna, a esperança de vida, o índice de mortalidade proporcional de Swaroop & Uemura, a curva de mortalidade de Nelson Moraes e sua quantificação de Guedes & Guedes são todas medidas da situação coletiva de um grupo populacional, associadas à morte dos indivíduos que compõem o grupo. Os índices sintéticos têm uma trajetória importante na saúde, e sua identificação tem sido aspiração permanente dos profissionais da área. A “esperança de vida ao nascer” já foi anunciada como tal, sendo suplantada por propostas mais atuais como “os dias de vida útil perdidos devido à doença e às incapacitações em geral”.

Uma das maneiras de apresentar as mais relevantes necessidades consiste em identificar os principais problemas de saúde por um sistema de indicadores. Os princípios em que se fundamenta o processo de eleição das prioridades para a pesquisa e para as ações em saúde não são consensuais. Além da frequência das doenças, deve ser pelo menos levada em conta a sua “vulnerabilidade”, ou a capacidade de intervenção do sistema de saúde “que permitiria *a priori* uma maior prevenção de mortes ao menor custo”<sup>6</sup>. Proposta recente é a de empregar uma metodologia especial capaz de determinar a “carga da doença” ou o “fardo da doença” (*burden of disease*) que emergiu no cenário atual da saúde por influência do segmento dos economistas e em virtude da preocupação do setor saúde com custos e efetividade. O Banco Mundial em seu Relatório Anual de 1993 “Investindo em Saúde” influenciou notavelmente a introdução dessa minuciosa metodologia<sup>7</sup>. No desenvolvimento dessas idéias, considera-se que países como o Brasil têm uma agenda inconclusa (falta de controle das doenças transmissíveis) e arcam com um “fardo duplo” pois as doenças crônico-degenerativas já os atingem com frequências até maiores do que algumas das transmissíveis.

- As agendas na saúde

O exemplo atual mais importante do que se pode entender como processo de formulação de tópicos principais para debate em saúde é dado pelos EUA com seu programa “Povo Saudável 2010” (*Healthy People 2010*)<sup>8</sup>, considerado explicitamente como uma “agenda para prevenção”: “*Healthy People 2010 is the prevention agenda for the Nation. It is a statement of national health objectives designed to identify the most significant preventable threats to health and to establish national goals to reduce these threats*”.

Constituiu um conjunto de objetivos a ser alcançados pelos EUA na primeira década deste século, com base em duas publicações anteriores, editadas com intervalo de vinte anos, que serviram como referência para o desenvolvimento de planos estaduais e locais. A agenda foi construída por meio de amplo processo de consulta e fundamentada no mais sólido conhecimento científico. A agenda “*Healthy People 2010*” tem apenas duas metas supremas: 1ª- ampliar a duração da vida saudável; 2ª- eliminar disparidades em saúde. Concentra as propostas em 28 áreas focais, enumeradas na Tabela 4.

Complementarmente, para acompanhar o “Estado de Saúde” da nação escolheram-se apenas 10 indicadores: 1. *Physical activity*, 2. *Overweight and obesity*, 3. *Tobacco use*, 4. *Substance abuse*, 5. *Responsible sexual behavior*, 6. *Mental health*, 7. *Injury and violence*, 8. *Environmental quality*, 9. *Immunization*, 10. *Access to health care*.

Sua utilidade maior reside na multiplicidade de grupos que fazem da agenda um instrumento de melhoria da saúde; por exemplo, o *National Institutes of Health* e outras agências de fomento de pesquisa passaram a exigir que os interessados em financiamento indiquem explicitamente em que item se enquadram entre as metas dessa agenda. A história e o processo de desenvolvimento da agenda foram de uma riqueza de participação notável, pois centenas de instituições e milhares de pessoas contribuíram para um processo que se vem aperfeiçoando gradativamente.

Essa agenda dos Estados Unidos serve como um exemplo de como se pode conduzir com seriedade um processo colaborativo de elaboração de metas que se aprimora progressivamente. Num inquérito realizado em 1993, verificou-se que 70% dos Departamentos de Saúde locais haviam empregado “pelo menos alguns” dos objetivos do *Healthy People 2000*. A partir da divulgação do *Healthy People 2010*, muitos Estados norte-americanos passaram a desenvolver suas próprias “versões” da agenda.

**Tabela 4**  
Áreas focais da agenda de saúde dos Estados Unidos denominada *Healthy People 2010*

<i>Access to quality health services</i>	<i>Injury and violence prevention</i>
<i>Arthritis, osteoporosis, and chronic back conditions</i>	<i>Maternal, infant, and child health</i>
<i>Cancer</i>	<i>Medical product safety</i>
<i>Chronic kidney disease</i>	<i>Mental health and mental illness</i>
<i>Diabetes</i>	<i>Nutrition and overweight</i>
<i>Disability and secondary conditions</i>	<i>Occupational safety and health</i>
<i>Educational and community-based programs</i>	<i>Oral health</i>
<i>Environmental health</i>	<i>Physical fitness and activity</i>
<i>Family planning</i>	<i>Public health infrastructure</i>
<i>Food safety</i>	<i>Respiratory diseases</i>
<i>Health communication</i>	<i>Sexually transmitted diseases</i>
<i>Heart disease and stroke</i>	<i>Substance abuse</i>
<i>HIV</i>	<i>Tobacco use</i>
<i>Immunization and infectious diseases</i>	<i>Vision and hearing</i>



## CENTROS DE PESQUISA MÉDICA

A Tabela 5 lista os principais centros de pesquisa médica no País: são responsáveis por mais de 80% das publicações na área médica (e grande parcela daquela qualificada como Biomédica), abrigam mais de 80% dos bolsistas de categoria I do CNPq de Medicina e Saúde Coletiva, e concentram mais de 80% dos cursos de pós-graduação de Medicina com conceito igual ou superior a 5 da CAPES. Muitas são instituições complexas, que associam unidades de ensino universitário, laboratórios e centros de pesquisa e conjuntos hospitalares altamente diferenciados, comparáveis aos melhores centros de pesquisa médica mundial. Nesta avaliação foram considerados apenas os centros que se dedicam à pesquisa aplicada (médica ou de saúde pública) ou que têm uma característica mista, mas foram excluídos centros ou institutos voltados predominantemente para a pesquisa básica.

Característica comum a eles é a de serem todas instituições públicas (governamentais de administração direta, autarquias ou fundações que se mantêm essencialmente com recursos públicos); há um único caso de instituição privada com produção científica significativa. No entanto, reconhece-se a existência de várias instituições de caráter privado que concentram numerosos profissionais médicos e de apoio altamente qualificados, que dispõem de infra-estrutura e equipamentos de alta qualidade que poderiam aumentar sua participação na pesquisa médica, se fossem incentivados a isso e estivessem dispostos a mudar o modelo de atuação.

Além disso, é possível identificar numerosas instituições que estão em fase de organização de seu processo produtivo de pesquisa. Um desafio do planejamento conjunto entre as instituições interessadas e os órgãos governamentais (CNPq, MCT, Capes), fundações de apoio regionais e estaduais é o estabelecimento de mecanismos que permitam incorporar estas instituições ao processo produtivo científico e tecnológico permanente na área de saúde.

De um modo geral, os centros de pesquisa médica reconhecíveis por sua produção científica quantitativa e qualitativamente significativa são ainda poucos, quando considerada a grande rede de hospitais universitários do País. A recuperação física e de infra-estrutura destes hospitais, se associada à remodelação dos grupos de pesquisa a eles vinculados, pode servir de base para a expansão da massa de centros de pesquisa médica no País.

**Tabela 5**  
Principais centros de pesquisa médica no País

Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (incluindo o Instituto do Coração)
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo
Fundação Oswaldo Cruz
Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro
Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo
Faculdade de Medicina de Botucatu da Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Medicina da Universidade Federal da Bahia
Instituto Ludwig de Pesquisas sobre o Câncer e Fundação Antonio Prudente

### GRANDES ÁREAS TEMÁTICAS: ESTADO ATUAL E PERSPECTIVAS

O perfil epidemiológico coloca o País claramente na categoria que o *Global Forum for Health Research*<sup>9</sup> classifica como dupla carga. Em amplas regiões do País, que incluem a maioria dos grandes centros urbanos e grande parte das regiões sul e sudeste, predomina o perfil epidemiológico próprio de países com renda elevada (predomínio de doenças não transmissíveis); no entanto, em outras regiões, mas também convivendo nos grandes centros urbanos mais desenvolvidos, há grandes populações com perfil epidemiológico próprio de países de renda baixa, predominando as doenças transmissíveis, as condições perinatais e maternas, e aquelas derivadas de desnutrição. A complexidade do quadro é maior porque não há uma separação exclusivamente geográfica dos dois perfis epidemiológicos, mas as populações afetadas pelos dois padrões têm uma distribuição complexa, que é ao mesmo tempo geográfica e vinculada ao perfil sócio-econômico. Finalmente, os agravos à saúde derivados do terceiro perfil epidemiológico afetam indiferentemente os dois grupos anteriores: alcoolismo, adesão a drogas, violência urbana e rural, acidentes e poluição. De um modo geral, a avaliação pelas causas de mortalidade mostra um perfil onde predominam as doenças crônicas degenerativas e não transmissíveis (Tabela 6).

**Tabela 6**  
Principais causas de morte no Brasil, em 1998 (Fonte Ministério da Saúde)

<b>Grupo de doenças</b>	<b>Porcentagem do total</b>
Cárdio-circulatórias	27,6 %
Causas externas	12,7 %
Neoplasias	11,9 %
Doenças respiratórias	9,9 %
Doenças infecto-parasitárias	5,2 %
Outras causas	32,7 %

A avaliação das condições de pesquisa médica e, em especial, uma projeção de prioridades, exigem um claro discernimento entre o sistema de saúde e o de bem-estar social. Apesar das interações entre eles, grandes problemas de saúde resultantes de falta de saneamento, de educação ou resultantes da miséria e do desemprego, não podem ser solucionados com a pesquisa médica ou social, mas sim com ações governamentais ou institucionais, predominantemente (mas não exclusivamente) públicas.

Talvez o elemento central no planejamento de desenvolvimento científico na área médica deve ser o de reforçar a necessidade de adquirir nossa própria experiência: o Brasil precisa obter seus próprios dados, formular políticas próprias e resolver problemas específicos do país. Em qualquer área de atuação, devemos seguir esse princípio.

#### GERIATRIA E GERONTOLOGIA

O desenvolvimento social e econômico, a melhora no saneamento básico, alimentação e educação, associados à evolução da Medicina têm elevado acentuadamente a expectativa média de vida. No Brasil, a expectativa de vida ao nascer sofreu um incremento significativo, saltando de 33,7 anos em 1900 para 63,5 anos em 1980<sup>10</sup>. A redução da mortalidade, principalmente nas faixas etárias mais elevadas (acima de 60 anos) e a diminuição da fecundidade resultaram em um aumento relativo e absoluto da população de idosos, que começou a manifestar-se mais acentuadamente a partir de 1960. Como consequência, é crescente na população geral o número de pessoas com mais de 80 anos, constituindo a denominada “quarta idade”. De 1900 a 2025 a população brasileira terá sido multiplicada por cinco e o segmento de pessoas com mais de 60 anos terá o seu número multiplicado por 15, fazendo com que o Brasil passe de 16º (em 1950) para o 6º lugar mundial (em 2025) em número absoluto de pessoas com 60 anos ou mais, quando um em cada sete brasileiros fará parte do contingente idoso da população e teremos uma expectativa de vida ao nascer de aproximadamente 73 anos (Tabela 7).

**Tabela 7**

Evolução da expectativa de vida ao nascer e da proporção de pessoas com 60 e mais anos da população brasileira, de 1900 a 2025

Ano	População com mais de 60 anos		Expectativa de vida ao nascer (em anos)
	Número (x 1.000)	%	
1.900	558,4	3,21	33,7
1.920	1.234,2	4,03	34,5
1.940	1.675,5	4,07	38,5
1.960	3.313,6	4,73	55,9
1.980	7.216,0	6,47	63,5
2.000	14.352,0	8,00	68,6
2.025	33.882,0	13,80	72,9

Fonte: IBGE 1986 e 1987

Outro parâmetro que dimensiona o envelhecimento populacional é a chamada transição demográfica, definida como a passagem de uma situação de altas fecundidade e mortalidade, na qual a proporção de idosos é baixa, para uma outra situação de baixas fecundidade e mortalidade, com alta proporção de idosos<sup>11</sup>. Um aspecto importante que está acompanhando o envelhecimento populacional é o crescimento mais rápido do grupo dos “muito idosos”<sup>12</sup>. No Brasil, no período de 1985 a 2000, espera-se um crescimento de 50% para o segmento de 60 a 64 anos e de 80% para o segmento de 75 a 79 anos. A taxa de crescimento anual estimada para a população com mais de 75 anos de alguns países, entre os quais o Brasil, no período de 1985 a 2025, é 16 vezes maior que a estimativa para o Reino Unido<sup>13</sup> (Tabela 8).

**Tabela 8**

Taxa de crescimento anual (%) da população de 75 anos ou mais, de 1985 a 2025

<b>Países</b>	<b>Crescimento anual (%)</b>
Reino Unido	0,25
Itália	1,56
Japão	3,36
Brasil	3,97

Um indicador epidemiológico das conseqüências sócio-econômicas do envelhecimento populacional é a morbidade. Algumas medidas de morbidade podem ser obtidas pela consulta aos registros dos serviços de saúde, como o coeficiente de alta hospitalar e a duração média das internações, cujos valores aumentam significativamente com o progresso da idade, refletindo o acréscimo dos custos de assistência à saúde associados ao envelhecimento da população.

A elevada freqüência de doenças crônico-degenerativas em idosos aumenta o uso de recursos hospitalares. A título de exemplo, de 1980 a 1995, no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP houve um decréscimo no número de internações de pacientes das faixas etárias de 0-30 anos de 20% a 50% e um incremento concomitante de 140% a 205% no número de internações de pacientes nas faixas etárias de superiores a 60 anos<sup>14</sup>. O aumento da utilização de recursos de saúde hospitalares e ambulatoriais, com implicações econômicas sérias e evidentes (já demonstradas em outros países), eleva o envelhecimento populacional à condição de grave problema de saúde pública. A abordagem correta destes pacientes só pode ser atingida pelo treinamento adequado de profissionais da área de saúde, e pelo estímulo à pesquisa em temas relacionados com o envelhecimento, desde a compreensão de suas bases biológicas e moleculares (como as demências, as alterações do metabolismo energético, protéico e ósseo em idosos, e

o câncer), como de temas diretamente relacionados com a assistência à saúde, a manutenção da qualidade de vida, da autonomia e de funções da vida diária.

De maneira mais aguda que em outras áreas da medicina, o desenvolvimento científico está muito relacionado com o progresso no ensino e na qualificação funcional. Praticamente desconhecida como área de formação profissional até recentemente, a introdução do ensino em graduação e pós-graduação médica, assim como a expansão dos programas de residência médica, constituem elementos importantes para formar uma massa crítica de profissionais e pesquisadores interessados no desenvolvimento científico da Geriatria e da Gerontologia.

A identificação de prioridade deve levar em conta o peso dos diferentes problemas de saúde entre idosos e a situação atual da pesquisa em geriatria no País. Os informes epidemiológicos do Sistema Único de Saúde (2000) apontam as doenças do aparelho circulatório, as neoplasias e as doenças do aparelho respiratório como as principais causas de óbito e de hospitalização após os 60 anos de idade, entre 1980 e 1996 (Tabela 9).

**Tabela 9**

A morbidade hospitalar (% do total de internações) e mortalidade proporcional (% dos óbitos devidos àquela causa) por grupos de doenças, na faixa etária superior aos 60 anos, no ano de 1.999 (fonte DATASUS)

<i><b>Grupo de doenças</b></i>	<i><b>Internações</b></i>	<i><b>Mortalidade</b></i>
Doenças do aparelho respiratório	21,42%	15,45%
Doenças do aparelho circulatório	28,76%	45,51%
Doenças do aparelho digestivo	9,95%	
Doenças do aparelho geniturinário	6,05%	
Doenças infecciosas e parasitárias	5,80%	3,54%
Neoplasias	4,43%	16,57%
Lesões e envenenamentos	4,16%	3,20%
Transtornos mentais	2,05%	
Demais causas	17,34%	15,73%

As doenças neurodegenerativas, incluindo a doença de Alzheimer e outras demências, apesar de não sobressaírem nas estatísticas de internações hospitalares, têm prevalência importante nesta faixa etária, estimada de 5% aos 65 anos e duplicada a cada cinco anos, após essa idade. O ensino de medicina e a pesquisa de saúde devem ainda focalizar as grandes síndromes geriátricas como: incontinência urinária, quedas, iatrogenia, instabilidade homeostática, estado confusional agudo, e alterações metabólicas como diabetes, desnutrição e osteoporose.

Em contraposição à sua crescente importância como problema de saúde pública, a pesquisa médica em Geriatria, no Brasil, é ainda incipiente. De um modo geral, predominam ainda os levantamentos epidemiológicos e al-

guns estudos de coortes. Os dois pólos, representados pela pesquisa básica de mecanismos de envelhecimento e suas conseqüências sob o ponto-de-vista celular e molecular de um lado, e a pesquisa sobre organização de assistência e serviços de saúde para melhorar a qualidade de vida do idoso de outro, são ainda quase inexistentes. Indicação da imaturidade deste setor é a existência de apenas dois bolsistas cujos projetos de pesquisa focalizam tópico de Geriatria ou Gerontologia entre os 188 pesquisadores de Medicina de nível I do CNPq nas áreas de Medicina, Saúde Coletiva e Nutrição. No entanto, existem grupos de pesquisa em vários estágios de organização, mas a produção global é ainda qualitativamente e quantitativamente pouco expressiva quando comparada com outros países, como Estados Unidos, Japão e Europa: Escola Paulista de Medicina (Unifesp), FM da USP (S. Paulo), FM de Ribeirão Preto, FM da PUC/RS, FM da UFMG, FM da UFRJ, Universidade de Brasília, UFBA, UFPR.

Da análise prévia conclui-se que a expansão e a consolidação da pesquisa em Geriatria no País dependerá de desenvolvimento de duas vertentes: a) ensino e treinamento, em todos os níveis, como a inclusão da Geriatria nos currículos de Medicina, expansão da residência médica e dos programas de pós-graduação; b) ação positiva dos órgãos financiadores no sentido de estimular a pesquisa em Geriatria e Gerontologia, em especial a pesquisa fundamental e aquela que pode dar resultados práticos para a atenção à saúde do idoso.

Dentro dessa perspectiva, são apontados alguns tópicos especiais de pesquisa para o desenvolvimento da Gerontologia no País:

- mecanismos biomoleculares do envelhecimento, em especial sua compreensão do ponto de vista de Biologia Celular, Molecular e Bioquímico;
- metabolismo energético, protéico e ósseo em idosos;
- biologia Molecular, Bioquímica e Fisiologia das Demências;
- estudos em doenças cardiovasculares, especialmente aqueles relacionados com a aterosclerose, a insuficiência do miocárdio e a hipertensão;
- bases moleculares e tratamento do câncer;
- índices e fatores determinantes de qualidade de vida;
- manutenção da autonomia e capacidade funcional;
- instrumentos e escalas de avaliação cognitiva, funcional, do humor e de outras esferas.

#### SAÚDE MENTAL

Os levantamentos epidemiológicos realizados na comunidade no Brasil<sup>15,16</sup> apontam para uma prevalência aproximada de transtornos mentais de 30% da população adulta, no período de um ano (Tabela 10), enquanto que cerca de 20%, ou seja, 1/5 da população adulta, demanda algum tipo de aten-

ção em saúde mental num período de 12 meses. Entre as mulheres são mais comuns os transtornos de ansiedade (9,0%), transtornos somatoformes (3,0%) e transtornos depressivos (2,6%). Na população masculina a dependência ao álcool aparece como o problema mais importante (8%), seguindo-se os transtornos de ansiedade (4,3%). Pode-se concluir que há, na comunidade, uma concentração de ansiedade e depressão nas mulheres e de dependência ao álcool entre os homens. Os transtornos psiquiátricos na comunidade são mais freqüentes na população feminina, aumentam com a idade e apontam para um excesso no estrato de baixa renda.

A maioria dos estudos epidemiológicos, realizados em diferentes países para avaliar a magnitude e a natureza dos transtornos mentais na clínica geral<sup>17</sup>, colocam a prevalência de transtornos mentais entre 27 e 48%. A mediana da prevalência encontrada é de cerca de 25%, casos que têm uma gravidade semelhante aos pacientes atendidos nos ambulatórios especializados em psiquiatria. Os transtornos psiquiátricos mais freqüentes na clínica geral são transtornos psiquiátricos menores: transtornos de ansiedade, transtornos depressivos e transtornos somatoformes<sup>18</sup>.

**Tabela 10**

Prevalência de Vida Ajustada por Idade (LOP) e Estimativa de Prevalência de um ano com Potencial para Tratamento (PNT), com base em diagnósticos do DSMIII em três áreas metropolitanas do Brasil (1990-1991)

Área Metropolitana	Brasília		São Paulo		Porto Alegre	
	LOP	PNT	LOP	PNT	LOP	PNT
Transtornos de Ansiedade	17,6	12,1	10,6	6,9	9,6	5,40
Fobias	16,7	11,6	7,6	5,0	14,1	7,1
Somatoformes	8,1	5,8	2,8	1,9	4,8	2,8
T. Obsessivo-Compulsivo	0,7	0,5	-	-	2,1	1,2
Distúrbios de Adaptação	2,0	1,3	0,6	0,4	1,6	1,0
Estados Depressivos	2,8	1,5	1,9	1,3	10,2	6,7
Mania e Ciclotimias	0,4	0,3	0,3	0,2	1,1	1,0
Psicoses	0,3	0,2	0,9	0,6	2,4	2,0
Álcool Abuso-Dependência	8,0	4,7	7,6	4,3	9,2	8,7
Retardo Mental	3,0	1,9	2,6	1,6	3,4	1,8
Total*	50,5	34,1	31,0	19,0	42,5	33,7

\*O total de casos estimados não corresponde a soma de prevalências por diagnóstico por causa da ocorrência de co-morbidade (Tabela extraída de Almeida-Filho e cols<sup>8</sup>).

**Tabela 11**

Prevalência de consumo de psicotrópicos para mil habitantes, no período de um ano na cidade de São Paulo em 1990

	Homens		Mulheres		Total	
	n	Taxa	n	Taxa	n	Taxa
Tranqüilizantes	39	46,2	101	112,6	140	80,4
Hipnóticos	5	5,9	16	17,8	21	12,1
Antidepressivos	1	1,9	4	4,5	5	2,9
Neurolépticos	2	2,7	3	3,3	5	2,9
Outros	3	3,6	12	13,8	15	8,6
Total	49	58,0	128	142,3	177	101,6

A maioria destes transtornos é de responsabilidade do clínico geral, sendo que apenas um em cada 20 casos psiquiátricos detectados na atenção primária é encaminhado para o médico especialista. Estes dados são corroborados pelo consumo de psicotrópicos na população, que mostra que mais de 10% da população adulta utiliza algum tipo de medicação psicotrópica no período de um ano, sendo a prevalência de consumo maior em mulheres do que em homens (14% vs 5%) (Tabela 11). Outros estudos realizados na comunidade demonstram a necessidade de os clínicos desenvolverem maior habilidade na identificação de casos psiquiátricos e que apenas 1/5 dos casos de depressão tratados na comunidade receberam atenção adequada. Em outro estudo realizado em três centros de atenção primária na cidade de São Paulo, comparando o nível de morbidade real e a prevalência identificada pelos clínicos verificou-se uma perda entre 22 e 79%, demonstrando a necessidade dos clínicos desenvolverem maior habilidade na identificação de casos psiquiátricos<sup>20</sup>.

• Custo econômico e social dos transtornos mentais

Tomando-se como base o cálculo de *YLDs* (*Years Lost for Disabilities*), que estima o período que um determinado indivíduo vive com uma determinada incapacitação, chega-se ao diagnóstico da magnitude do efeito que os transtornos mentais exercem na saúde geral da população. Entre as dez condições de maior incapacidade no mundo todo (estimadas pelos *YLDs*), cinco são devidas a Transtornos Mentais: Depressão, Dependência ao Álcool, Esquizofrenia, Transtorno Afetivo Bipolar e Transtorno Obsessivo Compulsivo<sup>21</sup> (Tabela 12). O aumento da longevidade e a melhora dos indicadores de saúde das últimas décadas, colocaram os transtornos mentais entre as cinco condições mais importantes de saúde pública no Brasil (levando-se em conta os custos diretos e aposentadorias por invalidez), aproximando-os do câncer, das doenças cardiovasculares e das doenças infecto-contagiosas.

**Tabela 12**

As 10 condições mais incapacitantes em todo o mundo avaliadas pelos *YLDs*

<b>Causa</b>	<b>Total em US \$ milhões</b>	<b>%</b>
Depressão	50,8	10,7
Anemia Ferropriva	22,0	4,7
Quedas	22,0	4,6
Álcool	15,8	3,3
Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica	14,7	3,1
Transtorno Bipolar	14,1	3,0
Anomalias Congênitas	13,5	2,9
Artrite Óssea	13,3	2,8
Esquizofrenia	12,1	2,6
T. Obsessivo Compulsivo	10,2	2,2



Um caso que ilustra bem o impacto dos transtornos mentais na economia é o da esquizofrenia, transtorno psicótico grave que atinge cerca de 1% da população adulta e tem um curso prolongado em 60% dos casos. Apesar de sua importância, não havia estimativa do custo desse transtorno no Brasil. O estudo realizado por Leitão<sup>22</sup>, que teve o objetivo de estimar o custo direto médico-hospitalar da esquizofrenia para o setor público do Estado de São Paulo, no ano de 1998, concluiu que há aproximadamente 177 mil pacientes com esquizofrenia no Estado, cerca de 81,5% dos quais estão sob cobertura do SUS, assim distribuídos: 3,7% estão em internações temporárias, 2,3% em internações de caráter permanente, 23% em tratamento ambulatorial e 71% sem tratamento regular. O custo direto total da esquizofrenia para o setor público, no Estado, no ano de 1998, foi de R\$ 222 milhões, sendo que 30,5% correspondem a internações de caráter permanente (moradores), 48,7% a outras internações, 11% a tratamento ambulatorial e 9,8% a pacientes sem tratamento regular. O tratamento ambulatorial, que tem sido associado a uma melhor qualidade de vida a um menor custo, recebe apenas cerca de 11% dos recursos destinados ao tratamento desse transtorno. Os custos diretos da esquizofrenia recaem, em sua maior parte, nos governos municipais e estaduais, uma vez que o repasse federal não alcança 40% do total despendido. Esses custos equivalem a 2,2% do total de recursos gastos em saúde no Estado de São Paulo em 1998. Este estudo demonstra que o tratamento da esquizofrenia consome uma parte importante do orçamento para o setor, é predominantemente hospitalar e deixa de atender a um contingente elevado de pessoas que demandam assistência especializada.

- Saúde mental e classe social

Os levantamentos populacionais de saúde mental no Brasil iniciaram-se com Coutinho<sup>23</sup>, no centro histórico de Salvador, Bahia. Dois outros estudos epidemiológicos importantes foram realizados em Salvador<sup>24,25</sup>, no Bairro de Ó, zona pobre da orla marítima, e numa área industrial da região metropolitana. Todos encontraram uma relação inversa entre condição econômica e transtornos mentais e, de modo geral, um excesso de morbidade na população feminina<sup>26</sup>. Estes resultados têm sido confirmados em estudos populacionais com idosos<sup>27</sup>, estudos ocupacionais<sup>28</sup> e estudos com clientela de serviços básicos de saúde<sup>29</sup>.

Uma pesquisa de corte transversal de base populacional conduzida em Pelotas (RS), com o objetivo de estudar as associações entre o uso de benzodiazepínicos, transtornos psiquiátricos menores e fatores sócio-econômicos<sup>30</sup>, em uma amostra representativa da zona urbana da cidade, demonstrou que 12% da população havia tomado algum tipo de droga psico-

trópica (predominando os benzodiazepínicos). Observou-se uma associação inversa entre o nível de renda, escolaridade e a prevalência de transtornos psiquiátricos menores e uma associação positiva entre renda e consumo de benzodiazepínicos, evidenciando a presença da 'lei dos cuidados inversos' no Brasil<sup>21</sup>.

• Distribuição de equipamentos e recursos humanos

Uma estimativa do coeficiente de psiquiatras no Brasil aponta para um número suficiente de especialistas (5,75 por 100 mil habitantes, perto da recomendação da OMS de 5 por 100 mil), mas estes profissionais concentram-se na região sul (6,3/100 mil) e sudeste (8,65/100 mil) (Mari 1992). O número de psicólogos é elevado em todas as regiões geográficas do País, também com maior excedente nas regiões Sul e Sudeste (41/100 mil).

**Tabela 13**

Custo das internações hospitalares no Sistema Único de Saúde pelo tipo de especialidade médica, 1997 (Fonte: Datasus, 1997)

<b>Especialidade</b>	<b>Valor (R\$)</b>	<b>(%)</b>
Cirurgia	1.087.167.574,00	33.9
Clínica Médica	861.626.571,00	26.8
Obstetrícia	443.357.736,00	13.8
Psiquiatria	371.054.789,00	11.5
Pediatria	347.235.006,00	10.8
Outros	95.410.347,00	2.9
Total	3.205.852.023,00	100.0

O número de leitos hospitalares era de 76.343 em 1996<sup>31</sup>, originando-se um coeficiente de 0,49 leitos/mil habitantes, distribuídos heterogeneamente nas diferentes regiões geográficas do País, de 0,07 no Norte a 0,70 no Sudeste. Ainda em 1996, o número estimado de leitos de hospital/dia era de 1.290 (0,82 leitos por 100 mil habitantes). Existiam 212 centros de atenção psicossocial em 1998<sup>23</sup>, correspondendo a pouco mais de um centro psicossocial para cada milhão de habitantes, e somente 15 serviços de emergências psiquiátricas, a maioria concentrada na região Sudeste, com um coeficiente estimado de um atendimento de emergência para 10 milhões de habitantes. Pode-se observar na Tabela 13, que contém a distribuição dos recursos despendidos em 1997, que as internações psiquiátricas correspondem a 11% do custo total hospitalar do País, chegando-se a um valor de R\$ 371 milhões, e cerca de 85% deste montante é repassado ao sistema de hospitais privados que têm convênio com o SUS.

A análise das internações hospitalares em psiquiatria no País mostra que ocorrem anualmente 236 internações por 100 mil habitantes, revelando ainda sensível heterogeneidade de cobertura e de acesso nas diferentes regiões do País, apontando para a necessidade de investimentos em projetos de pesquisa de políticas públicas e de gestão nesta área.

- Capacidade de pesquisa

Houve um crescimento importante na produção de artigos na comparação de quinquênios (1996-00/1981-85, com fração de 3,2), mas que não acompanhou o crescimento de outras áreas da saúde, indicando que vários investimentos em saúde mental podem não ter sido revertidos em produção científica de bom nível. A avaliação dos programas de pós-graduação conduzida pela Capes aprimorou-se, teve grande influência na reestruturação do ensino no setor, e certamente se refletirá na capacidade de produção científica. Este aprimoramento da avaliação dos programas de pós-graduação deveu-se principalmente à aceitação da relevância da produção intelectual, aferida pela qualidade dos veículos científicos, como elemento central de julgamento, desestimulando orientadores que não apresentavam familiaridade com o método científico e produziam predominantemente livros e artigos em revistas locais não arbitradas por especialistas externos. Dois centros em São Paulo (USP e Unifesp), apresentam um bom nível na pós-graduação (nível cinco), com centros emergentes na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na Universidade Federal do Rio de Janeiro e na USP de Ribeirão Preto. Pode-se também encontrar produção de qualidade na Unicamp, UFBA, UFMG, UFPEL e UCPEL, entre outras.

- Conclusões e recomendações

A sobrecarga econômica e social dos transtornos mentais tem sido claramente subestimada em nosso meio. O impacto da morbidade psiquiátrica na saúde geral da população é substancial e demanda expansão de investimentos para o desenvolvimento e consolidação da área como um todo (ensino, pesquisa e assistência).

A dependência ao álcool surge como a condição mais importante de saúde mental no Brasil. Cerca de 8% da população adulta masculina necessita de algum cuidado médico face ao uso nocivo de álcool, no período de um ano, sendo o álcool responsável por aproximadamente 40 a 50% dos casos novos internados em hospitais psiquiátricos, que pode não ser o melhor local de tratamento desta população. Há uma carência de estudos de custo/efetividade para comparar o tratamento hospitalar tradicional com o

custo do tratamento em unidades de desintoxicação breve nos hospitais gerais. Nos últimos anos houve um aumento do número de profissionais especializados no tratamento de dependência de álcool e drogas, mas este número é ainda insuficiente. Uma outra constatação é que há uma atitude leniente em relação aos riscos de exposição precoce ao álcool. Os programas de prevenção ao consumo são precários, recomendando a implantação de políticas públicas e legislação antialcoolismo, como proibição de propaganda e intensificação de vigilância. Como resultado, tanto as pesquisas das bases biológicas como as relacionadas com o cuidado do dependente devem ser estimuladas.

Os resultados dos estudos epidemiológicos levam à conclusão de que o clínico geral (ou o médico não especialista) é o profissional mais atuante em saúde mental. Este fenômeno é também observado em países desenvolvidos como a Inglaterra, os Estados Unidos e Canadá, assim como nos países da América Latina<sup>32</sup>. É fundamental, portanto, que o currículo médico contemple um treinamento adequado para o profissional identificar e lidar com os transtornos mentais mais freqüentes na clínica geral e unidades de atenção primária. Esta evidência epidemiológica ainda não se traduziu em mudanças curriculares substanciais do ensino na graduação.

A mudança de perfil demográfico, com a mudança da população do meio rural para cidades com mais de meio milhão de habitantes, pode estar associada com o excesso de transtornos psiquiátricos menores (principalmente estados de ansiedade), observados nos estudos populacionais conduzidos no País. Esta mudança migratória resultou na acentuação de condições habitacionais precárias, dificuldade de inserção ocupacional, falta de lazer, e a violência decorrente da desigualdade social, e recomenda o desenvolvimento ou intensificação de pesquisas relacionadas com a saúde mental em áreas urbanas carentes.

O aumento da longevidade e redução das taxas de fertilidade decorrentes da transição epidemiológica resulta no incremento dos transtornos mentais da terceira idade (depressão e estados demenciais entre outros).

Há um número suficiente de profissionais médicos atuando em psiquiatria, mas concentram suas atividades em consultórios privados dos grandes centros urbanos do País. Observa-se na especialidade o efeito da “lei dos cuidados invertidos”, onde a população de baixa renda e com excesso de morbidade não recebe cuidados mínimos em saúde mental, enquanto uma parcela privilegiada da população pode estar recebendo um excesso assistencial<sup>33</sup>. Há, portanto, necessidade de se estabelecer prioridades na assistência. Deve-se garantir, em futuro breve, um cuidado adequado aos casos psiquiátricos mais graves como esquizofrenia e transtorno afetivo bipolar, e através da expansão de unidades extra-hospitalares, promover o acesso universal à saúde mental.

O País não possui profissionais capacitados para a organização e planejamento dos serviços de saúde mental. Há um forte componente ideológico na área, que tem permitido a ocupação destas funções por profissionais pouco preparados do ponto de vista técnico e administrativo. Não existem no País gestores de saúde na área de saúde mental, que apresenta interface com a Epidemiologia, Antropologia, Política de Saúde e Economia da Saúde. Este profissional não existe no País. Sua formação, bem como a pesquisa neste setor, deveria ser estimulada pelos órgãos de fomento. É preciso também investir em áreas precárias como Psiquiatria Infantil, Psiquiatria Forense e Transtornos Alimentares.

Os equipamentos de saúde mental são relativamente escassos e mal distribuídos nas diferentes regiões do País (leitos psiquiátricos, emergências psiquiátricas, centros de atenção psico-social). Além do mais, não há uma cultura de avaliação, com estudos de custo benefício para comparar diferentes alternativas assistenciais visando a uma melhora da cobertura do sistema.

A consolidação dos grupos de pesquisa existentes depende fortemente de investimentos na formação de recursos humanos. Esses investimentos deveriam privilegiar as investigações epidemiológicas e antropológicas, voltadas para a resolução de problemas locais, assim como as que permitiriam consolidar a base científica nacional na área (com expansão e modernização dos laboratórios).

## CÂNCER

O câncer constitui a terceira causa de morte no País, e a tendência é aumentar sua relevância à medida que aumenta a expectativa de vida da população e há uma redução de mortalidade por doenças transmissíveis. Para o ano de 2001, espera-se a ocorrência de cerca de 305.330 casos novos de câncer no País e cerca de 117.500 mortes causadas pelas diferentes formas da doença, predominando os cânceres do sistema respiratório, estômago, mama, próstata e colo-retal (tabela 14)<sup>34</sup>.

A importância crescente deste grupo de doenças não tem sido acompanhada de aumento proporcional do esforço de investigação e de investimentos para pesquisa, apesar de ter ocorrido um sensível progresso nos últimos anos, revelado por:

- aumento da competência profissional médica para diagnóstico e tratamento de câncer, concentrada ainda em alguns hospitais e centros universitários, embora haja uma tendência a se difundirem. Esta proficiência envolve principalmente a área cirúrgica, a manipulação de quimioterápicos e suporte ao paciente com câncer e imunodeprimido. Os métodos diagnósticos mais precisos e invasivos são ainda de uso restrito, pela carência de pessoal treinado

e pelos altos custos envolvidos, assim como abordagens especiais de tratamento. Por exemplo, ainda há um número restrito de centros no País que realizam rotineiramente o transplante alogênico de medula óssea, uma forma bem estabelecida de tratamento de neoplasias hematológicas;

- aumento dos artigos e dos projetos de pesquisa na área de Oncologia, incluindo numerosos projetos que tratam de aspectos básicos, moleculares ou de aplicação de conhecimentos básicos à área clínica, e não apenas testes de medicamentos. No entanto, entre os 188 pesquisadores da categoria I do CNPq nas áreas de medicina, saúde coletiva e nutrição, há apenas sete projetos que focalizam tema de Oncologia;
- estabelecimento e modernização de hospitais e institutos dedicados ao tratamento e estudo do câncer.

**Tabela 14**

Estimativas de casos novos e de óbitos por câncer no Brasil em 2001

<b>Localização</b>	<b>Casos novos</b>	<b>Óbitos</b>
Traquéia, brônquio e pulmão	20.830	15.145
Estômago	22.330	10.765
Mama	31.590	8.670
Próstata	20.820	7.320
Cólon e reto	16.165	7.230
Pele não melanoma <sup>a</sup>	54.460	830
Outras localizações	139.135	67.590
<b>Total</b>	<b>305.330</b>	<b>117.550</b>

<sup>a</sup> Apesar do grande número de casos, a doença é de fácil diagnóstico e tratamento, estando pois associada a baixa mortalidade.

Um expressivo esforço recente de pesquisa em câncer no País envolveu uma iniciativa conjunta (ação provocada e não de demanda) da FAPESP e do “Ludwig Institute for Cancer Research”, e representa um excelente exemplo da associação da pesquisa médica com pesquisa básica para geração de conhecimento genuinamente nacional em questões específicas<sup>35</sup>: empregando método original um consórcio de laboratórios executou o seqüenciamento de cerca de 1,2 milhões de ESTs (*expressed sequence tags*), a segunda contribuição em importância mundialmente nesta área. Desta abordagem essencialmente de ciência básica derivaram competência técnico-científica nova no País, artigos científicos de elevado impacto<sup>36,37</sup> e possibilidades de aplicações pela transferência para testes clínicos de resultados e reagentes.

Uma agenda incompleta de tópicos que devem focalizar a atenção da pesquisa de câncer no País nos próximos anos inclui:

- variações da expressão gênica em tumores, relação de alterações gênicas específicas com a suscetibilidade à doença, sua gênese, evolução e resposta terapêutica;

- associação de mecanismos celulares e variações histopatológicas com a evolução e resposta ao tratamento;
- desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas com base nos conhecimentos de biologia celular e molecular;
- identificação de fatores de risco e fatores ambientais associados aos diversos cânceres e propostas de estratégias de prevenção;
- estabelecimento e manutenção de registros de base populacional;
- desenvolvimento e aperfeiçoamento de estratégias de tratamentos quimioterápicos, radioterápicos, com agentes biológicos ou transplantes, em especial por meio de testes clínicos em grupos de colaboração;
- desenvolvimento de estratégias de tratamento para reduzir as mutilações, e de abordagens educativas e de apoio para recuperação dos pacientes;
- fatores determinantes de qualidade de vida, e manutenção da autonomia e capacidade funcional.

#### DOENÇAS CARDIOVASCULARES

Este documento tem por objetivo sugerir um modelo que permita estabelecer políticas que favoreçam o desenvolvimento da pesquisa cardiológica no País. Assim sendo, requer: a) análise das condições atuais, b) propostas para atuações futuras; e, c) definição das áreas de interesse científico.

##### • Condições Atuais

No Brasil temos mais de 150 centros médicos que fazem cirurgia cardíaca, onde se realizaram 44.006 operações cardíacas no ano de 1999. Ainda no ano de 1999 foram realizadas, somente pelo SUS, 1.013.414 internações por doenças circulatórias, 54.125 de cinecoronariografias, foram implantados 11.284 marcapassos e feitas 16.186 angioplastias. Temos vários laboratórios, bem equipados, de subespecialidades como eletrofisiologia e imagens incluindo radioisótopos, ecocardiografia e ressonância magnética. Além disso, temos 95 escolas médicas e aproximadamente 156 hospitais universitários. Ou seja, o volume de pacientes e a variedade de serviços prestados estão entre os maiores do mundo. Em vários centros temos pesquisadores bem treinados, muitos dos quais com formação no exterior e que mantêm programas de pesquisa ativos.

No entanto, não temos dados nacionais adequados sobre fatores de risco coronarianos, sobre morbidade e mortalidade de muitas das doenças cardíacas mais comuns como insuficiência cardíaca ou cardiopatias congênitas. Não temos dados concretos sobre recursos e custos de nossas atividades médicas. Não temos registros adequados que permitam o seguimento de

pacientes submetidos a investigações e tratamentos enquanto hospitalizados. Assim, faltam-nos dados evolutivos de crianças operadas de cardiopatias congênitas, de pacientes com infarto, de cirurgias cardíacas de adultos (revascularizações, cirurgias valvares, vasculares) ou pós-angioplastias. Por isso não temos experiências nacionais, verdadeiramente abrangentes e confiáveis, em essencialmente nenhuma área da cardiologia. Sobre praticamente qualquer tema, quando precisamos discuti-lo quanto à prevalência, incidência ou custos, temos de recorrer a dados estrangeiros.

Na Tabela 15 estão os dados do Cenic (Centro Nacional de Intervenções Cardiológicas) relativos a intervenções coronarianas realizadas entre 1997-2000 no Brasil, incluindo angioplastias com e sem *stents*, aterectomias e *laser*. Como se vê há uma grande disparidade entre regiões, no que concerne a estes procedimentos considerados complexos. Na Tabela 16 está quantificada a participação dos estados quanto à origem dos Temas Livres a serem apresentados no Congresso Brasileiro de Cardiologia, 2001, em Goiânia. Também aqui há grande disparidade.

**Tabela 15**

Representatividade por região das Intervenções coronarianas realizadas entre 1997-2000. Total: 68.236

<b>Região</b>	<b>Contribuição (%)</b>
Sudeste	57,6
Sul	18,4
Nordeste	17,0
Centro-Oeste	4,2
Norte	2,8

**Tabela 16**

Temas Livres do Congresso da Sociedade Brasileira de Cardiologia 2.001

<b>Estado</b>	<b>Nº. de Trabalhos</b>	<b>%</b>
São Paulo	192	50,8
Rio de Janeiro	60	15,9
Rio Grande do Sul	40	10,6
Bahia	21	5,6
Paraná	20	5,3
Minas Gerais	14	3,7
*Outros	31	8,2
Total	378	100,0

\* engloba oito Estados e o Distrito Federal

Portanto, temos uma heterogeneidade tanto no que se refere aos serviços médicos prestados, quanto ao ensino e à pesquisa. Por isso não podemos ter uma proposta única aplicável a todo o País. Precisamos diferentes pro-



postas para situações distintas, em regiões, universidades, institutos, e escolas médicas. A única coisa comum é que a pesquisa deve ser uma atividade que se exerça em todas as instituições de ensino, sejam faculdades, hospitais universitários ou institutos. Por que em todos? Porque a pesquisa é o instrumento de formação de uma elite intelectual que criará as condições para o desenvolvimento tecnológico do País, culminando no progresso material e humano que diminuirá as enormes diferenças e injustiças sociais de nosso País. A pesquisa emerge, pois, como um instrumento de desenvolvimento social e, portanto, que deve ser praticada em todos os ambientes de ensino, independente de seu grau de desenvolvimento científico e tecnológico.

• Atuações futuras

Aqui é preciso distinguir algumas situações relacionadas ao estágio de desenvolvimento em que se encontram nossas instituições de ensino; sem essa compreensão estaríamos correndo o risco de propor atuações uniformes, idênticas para efetores tão distintos que sua execução seria impossível. Seria exigir demais de alguns, e menos de outros. As propostas devem adequar as atuações às capacidades estabelecidas, para que as tarefas possam ser executadas a contento. Assim, temos:

1) Centros de excelência – são instituições já equipadas, que possuem pessoal, equipamentos, facilidades físicas, tradição de boas práticas médicas, de ensino e de pesquisa; estas já vêm prestando contribuições para o desenvolvimento da ciência e do ensino, e têm como exemplos o Incor, a UFRGS, e a Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto. Estas instituições podem trabalhar com qualquer nível de complexidade em pesquisa, mas devem priorizar pesquisas de ponta; devem estar na fronteira do conhecimento, focalizando tópicos como: novos equipamentos diagnósticos (RM, radioisótopos, eco), tratamentos modernos (robótica, implante de células mãe), biologia molecular com todas suas possíveis aplicações; nanotecnologia etc.

2) Centros em desenvolvimento potencial/real – são representados por faculdades já tradicionais, antigas até, com programas de ensino de graduação bem estabelecidos, que têm hospitais universitários associados, dispõem de ampla experiência em atendimento médico, mas que não têm tradição em pesquisa. Estas deveriam investir em pesquisas clínicas, formação de laboratórios básicos e formação de pesquisadores clínicos. Programas de pós-graduação bem formulados são essenciais. A busca de aperfeiçoamento em ciência deveria ser uma de suas finalidades básicas.

3) Centros emergentes – são representadas por faculdades implantadas mais recentemente, com pequeno número de professores titulados, ver-

bas restritas, muitas vezes sem vínculo com um hospital universitário próprio, sem tradição acadêmica e mesmo sem grande qualidade no atendimento médico (procedimentos de maior complexidade, embora rotineiros no País, não são aí praticados). Mesmo com estas restrições, tais instituições poderiam dedicar-se a pesquisas clínicas ou epidemiológicas, e dessa forma permitir aos alunos contato com o método científico e contribuir para o conhecimento da realidade brasileira quanto a doenças e peculiaridades locais.

• Áreas científicas de interesse

Algumas áreas, indicadas a seguir, são de interesse especial em cardiologia no Brasil, em vista da alta incidência de casos, de sua gravidade quanto a morbi-mortalidade e dos custos que incorrem.

1) Aterosclerose: compreendendo coronária, cerebral e vascular periférica. As doenças cardiovasculares são a principal causa de morte no país, contribuindo com cerca de 35% do total. Alguns tópicos podem ser citados especificamente:

- fatores de risco tradicionais e novos (homocisteína, HDL baixo, síndrome plurimetabólico);
- mecanismos de instabilização de placas;
- detecção não-invasiva da doença;
- viabilidade miocárdica;
- marcadores genéticos de aterosclerose;
- preditores evolutivos quanto às várias formas de apresentação da doença;
- influência de dietas, ação de plantas tropicais através de flavonóides;
- disfunção endotelial.

2) Hipertensão arterial: doença complexa, multifatorial, que resulta do desequilíbrio de múltiplos sistemas, cada um deles como uma regulação complexa, resultante da qualidade dos genes e dos fatores ambientais que solicitam com maior ou menor intensidade o seu funcionamento. Conhecer cada um dos componentes de cada sistema, identificar os genes, conhecer a sua regulação, estabelecer a correlação entre marcadores genéticos e funcionais, e não menos importante, estudar a importância relativa de cada um dos sistemas e saber como eles funcionam integradamente, é o grande campo de pesquisa para as próximas décadas na área da hipertensão e das doenças cardiovasculares. Alguns tópicos poderiam ser citados:

- mapeamento dos genes da hipertensão:
  - identificação de genes responsáveis pela hipertensão;
  - caracterização em enfermidades cardiovasculares de variantes de genes que participam (ou suspeita-se de que participem) de regulação da pressão (ECA e angiotensinogênio entre outros);

- Desenvolvimento de ferramentas estatísticas.

- aspectos moleculares da regulação do sistema renina-angiotensina;
- análise do componente neurogênico;
- análise do sistema óxido nítrico (NO)/endotélio;
- treinamento físico.

3) Insuficiência cardíaca (ICC): síndrome que se associa a grande mortalidade, superando a maioria dos cânceres. Ao final de cinco anos de evolução, mais de 50% dos doentes terão morrido. É, também, uma das poucas doenças cardíacas cuja incidência está aumentando; portanto, a busca de índices prognósticos é uma área de interesse imediato. Temas gerais incluem: a) mecanismos, b) inflamação, c) propostas terapêuticas, e d) marcadores evolutivos.

Estudo de marcadores prognósticos metabólicos, como citocinas (interleucinas, TNF) que podem ser obtidos por uma amostra de sangue periférico. Valor do tratamento antiinflamatório, baseado no conceito de que a inflamação faz parte das fases avançadas da doença. O estudo das bases moleculares da cardiomiopatia dilatada e da síndrome de insuficiência cardíaca pode permitir a identificação de novas e mais eficazes formas de tratamento. É conhecida há pouco mais de uma década a participação de mediadores pró-inflamatórios como o fator de necrose tumoral alfa (TNF-alfa) na progressão da ICC. É conhecida a heterogeneidade da evolução da ICC após a apresentação inicial. Na Cardiopatia Chagásica Crônica (CCC) há crescentes indícios do envolvimento de polimorfismos genéticos de tais mediadores na progressão e mortalidade da ICC.

4) Arritmias: vias finais comuns que levam à morte em várias situações clínicas, como insuficiência coronária e ICC. Na ICC, mortes súbitas, por arritmias, representam aproximadamente 35 % da mortalidade. Arritmias supraventriculares e ventriculares representam grande número de casos e implicam em enormes custos para diagnóstico e tratamentos. Estes tratamentos necessitam de análise quanto à eficiência e custos. Tópicos gerais de interesse incluem: a) mecanismos fisiopatológicos; b) drogas; c) desfibriladores; d) marcapassos; e, e) ablação.

Alguns tópicos são de especial interesse:

- estudo da fisiopatologia de arritmias em doença de Chagas e outras cardiomiopatias, e insuficiência coronária;
- novas técnicas para tratamento de arritmias de alto risco: comparação entre drogas, ablação e desfibriladores.

5) Biologia Molecular: nas suas diversas formas de aplicação, por exemplo, marcadores de doenças, prognóstico, manipulação gênica ou farmacogenética, deve ser uma área de intenso interesse para os centros de excelência. Requer laboratórios e pessoal técnico especializado em diversos níveis. A

importância da Biologia Molecular é tamanha que está influenciando significativamente o ensino, a pesquisa e a prática médica. Deve, pois, representar um componente essencial de planos de desenvolvimento científico.

6) Nanotecnologia: uma nova ciência que precisa ser iniciada no Brasil em centros de excelência. Trata-se de estudos e aplicações do “infinitamente pequeno”. Não apenas conceitos, mas aplicações práticas através de investimentos estão sendo vislumbradas. Nos Estados Unidos já existem aproximadamente 30 centros dedicados à Nanotecnologia<sup>38</sup>.

#### SAÚDE PÚBLICA E SAÚDE COLETIVA

O caráter dialético da Epidemiologia como disciplina científica e como tecnologia não material de organização dos cuidados já foi extensamente explorado. Coube a Mendes Gonçalves<sup>39</sup>, em magnífica incursão pelo tema, estabelecer as bases conceituais hábeis para mostrar como a clínica subordina-se à epidemiologia na questão de organizar os cuidados, mas o inverso não é verdadeiro.

#### • A medicina baseada em evidências

Um desenvolvimento relativamente recente é representado pela chamada Epidemiologia Clínica, com um discurso fundamentado na supremacia da clínica na área da saúde, em todo o mundo. Reconhecendo que geralmente se atribui a clínicos sem suficiente conhecimento epidemiológico a missão de chefiar ministérios de saúde, concluiu-se que seria necessário introduzir a Epidemiologia no ensino da clínica. Recrutaram-se, para propagar essa idéia, clínicos de grande prestígio internacional que haviam recebido, durante décadas, estagiários de todo o mundo em seus serviços clínicos localizados nos países desenvolvidos, criando-se uma Rede Internacional de Epidemiologia Clínica (Inclen)<sup>40</sup> para consolidar esse movimento, especialmente nos países em desenvolvimento. A metodologia epidemiológica foi aproveitada para introduzir procedimentos supostamente “mais científicos” na prática médica, originando a denominação Medicina Baseada em Evidências. Os limites dessa proposta não tardaram, no entanto, a ser denunciados. De um lado, alguns profissionais da área da saúde interpretaram o movimento como resposta dos “conservadores” aos progressos e conquistas da Epidemiologia Social, especialmente na América Latina. Nem estas conquistas foram tão grandes, nem a Epidemiologia Clínica conseguiu ultrapassar de maneira competente os limites que lhe são impostos pela própria natureza (clínica) de seu objeto. Sem negar o valor dos resultados no âmbito estrito em que foram obtidos, é quase unânime a impossibilidade de sua generalização para todo o

campo da saúde em todo o mundo. Uma das mais recentes e contundentes críticas surgiu num veículo tradicional dos progressos no conhecimento científico na área clínica, o *British Medical Journal*, que realizou entre os seus leitores uma eleição de quais seriam as “vacas sagradas” a serem abatidas em sua edição de Natal de 1998, ganhando o primeiro lugar, quase unânime, a “medicina baseada em evidências” (*evidence based medicine*). Esse fato quase anedótico dá bem uma medida das reações, mesmo no primeiro mundo, à maré montante do movimento da Epidemiologia Clínica. No debate do BMJ a ironia prevaleceu, como nas sete alternativas identificadas por um grupo australiano: *eminence, or vehemence, eloquence, providence, diffidence, nervousness, confidence based medicine*<sup>41</sup>. Mas, também, discussões mais sérias como a “crise dos paradigmas e a ciência pós-moderna” que gerou desconfianças e protestos a respeito da natureza de outros “saberes” e a reiterada convicção de que o conhecimento científico é soberano. Esse ilustrativo e intenso debate conduziu a uma contribuição importante na defesa da “medicina baseada em narrativas”.

- A pesquisa em sistemas e serviços de saúde

O interesse internacional pelo tema da organização dos cuidados é antigo e complexo. Mencionem-se, por exemplo, os esforços do ministro Marc Lalonde, do Canadá, que introduziu o conceito de “campo de saúde” com o qual pretendia equacionar as novas perspectivas de saúde do povo canadense<sup>42</sup>. Talvez tenha sido essa a primeira incursão formal por um terreno até então pouco explorado: incluir o estilo de vida (*life style*) no modelo de análise, ao lado de elementos já consagrados como o ambiente, a biologia humana e os fatores do sistema de saúde. Infelizmente, esse novo conceito foi posteriormente deturpado, deixando de ser, como se pretendia originalmente, uma expressão coletiva das condições de vida da sociedade, e passou a ser banalizado como a somatória de costumes e práticas de indivíduos singulares<sup>43</sup>, o que conduziu à definição dos “grupos de risco”, por exemplo, na expansão da epidemia de AIDS.

As propostas do Banco Mundial, enunciadas no Relatório de 1993<sup>6</sup>, “Investindo em Saúde”, reativaram a importância deste campo de pesquisa. Em grande parte pela polêmica estabelecida ao qualificar as ações segundo o grupo social a que se destinam. Definiram um conjunto de ações que compõem uma “cesta básica” a ser oferecida a todos pelo setor público. As ações que apenas podem ser fruídas individualmente devem ser privatizadas, ou transferidas para o sistema de compra e venda do mercado. Reconhecendo que sua proposta não pode beneficiar os mais pobres dentre os pobres, o Banco Mundial sugere a focalização em temas mais sensíveis, como a mortalidade materna, ou em grupos sociais mais vulneráveis, como as vítimas de

catástrofes. Certamente, os autores desta proposta não conseguiram aplacar de todo os clamores de suas consciências. A questão dos custos das ações torna-se central nesta discussão de como formular políticas e estabelecer programas e projetos envolvendo sistemas e serviços de saúde; e, por decorrência, na eleição de prioridades para a pesquisa em saúde.

A Investigação em Serviços (e Sistemas) de Saúde na sua versão associada à já mencionada “Rede Inclen” banaliza a complexidade do tema, reduzindo-o a uma espécie de aplicação do “método da Epidemiologia Clínica”, capaz de conduzir a uma espécie de “Saúde Pública Baseada em Evidências”. Faz mais, atribui a realização da pesquisa ao próprio pessoal dos serviços de saúde, após um treinamento sumário. Não consegue disfarçar a fatuidade da proposta ao chamá-los de “investigantes” para não haver confusão com os pesquisadores profissionais.

- Delimitação e importância do campo da Saúde Coletiva

O campo da Saúde deve ser encarado numa perspectiva setorial na medida em que diversas disciplinas contribuem em sua composição temática. Pertencem a ele, desde preocupações eminentemente teóricas a respeito do sentido da relação entre condições de saúde e qualidade de vida, até indagações operacionais tão objetivas quanto a melhor maneira de organizar uma fila de pessoas numa campanha de vacinação em massa. A transdisciplinaridade não é neste campo mera figura de debate epistemológico.

A Grande Área da Saúde, no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq<sup>44</sup>, pode dar uma idéia aproximada do conjunto de atividades ligadas à pesquisa científica que pertencem ao campo da saúde. Não se trata apenas de disciplinas científicas, mas de um complexo conjunto de atividades humanas socialmente determinadas que extraem suas bases conceituais para o exercício das ações que lhes corresponde de um complexo elenco de disciplinas científicas e de outros saberes. A relevância da área pode ser intuída pelos 3.500 Grupos e pelos 15 mil pesquisadores que a compõem. A Saúde Coletiva é uma das áreas listadas, com três sub-áreas: Epidemiologia, Medicina Preventiva e Saúde Pública. Sujeita a inúmeras críticas, esta classificação de uma certa forma banaliza o campo. Porém, se encaramos o desenvolvimento recente das pesquisas na Epidemiologia (social, molecular, clínica etc), e mesmo nas outras duas, verificamos que a essência da área está aí incluída.

A Saúde reveste-se, na atualidade, de uma relevância econômica internacional como resultado da incorporação tecnológica desenfreada, tanto no âmbito dos produtos quanto dos processos. Considerada não apenas como atividade no âmbito do social, a saúde participa com um peso importante no processo de acumulação econômica. Como decorrência, a participação da

saúde na massa de produção científica internacional é impressionante. Em qualquer das economias desenvolvidas, a pesquisa ligada ao campo da saúde representa sempre a maior parcela. Também em nosso meio os indicadores mostram a relevância da saúde, especialmente no campo da pesquisa científica e, menos, no do desenvolvimento tecnológico.

Um modelo de formulação de prioridades na pesquisa em saúde coletiva não elimina, antes contextualiza, o grande compartimento das ações de pesquisa Biomédica (“básica”) e da pesquisa Clínica. Relewa notar que a designação de pesquisa básica associada, no campo da medicina e das ações de saúde, ao segmento das disciplinas Biomédicas (Bioquímica, Fisiologia, Farmacologia, Anatomia, Anatomia Patológica, Parasitologia, Microbiologia, Imunologia, Genética etc) é motivo de crítica por parte daqueles que consideram ultrapassado o “modelo flexneriano” de ensino médico, hegemônico a partir do início do século XX. Considera-se, por exemplo, que a disciplina básica das ações de saúde no âmbito coletivo é a Epidemiologia.

• Os eixos da pesquisa “coletiva” propriamente dita: uma tipologia possível para o campo temático

Em 1998, ao assumir a Secretaria de Políticas de Saúde do Ministério da Saúde, João Yunes designou Grupo de Trabalho encarregado de propor alternativas para a implementação da Política Nacional de C&T em Saúde. Participante desse GT, Reinaldo Guimarães, da UERJ, apresentou um esboço de tipologia que foi acolhido pelos demais membros. Transcrevemos do Relatório Final do GT (Ministério da Saúde, 1999):

Papel do Ministério da Saúde (MS) em C&T

O Grupo de Trabalho refletiu a respeito do que poderia ser considerada a pergunta fundamental do MS e qual seria a resposta. O MS quer saber o que há feito e o por fazer. Como resposta deveríamos dizer que há uma história pregressa e que as expectativas (desde 1994) coincidem em pelo menos seis pontos essenciais:

1. O âmbito da Política de C&T em Saúde é setorial e não exclusivo do MS, embora deva estar vinculada ao SUS e ser fortemente indutiva

2. A Política de C&T em Saúde é essencialmente articuladora, formulando ações em áreas reconhecidas como estratégicas

3. A articulação exige a criação de um *modus faciendi* entre o inovador (Ex.: NIH) e o conservador (Agências: CNPq etc.)

4. A abrangência da política compreende cinco grandes campos da C&T em Saúde aplicada aos objetivos:

- econômicos;
- estratégicos;

- de planejamento e organização;
- de infra-estrutura de C&T;
- do compartimento das ações de pesquisa básica.

5. O Financiamento da C&T em Saúde é essencialmente estatal. Deve ser verificada a questão das alíquotas para C&T presentes nos grandes projetos de financiamento do MS, como p. ex. o VIGISUS

6. Quanto ao arcabouço institucional é difícil persistir na proposta de uma nova Secretaria Nacional de C&T em Saúde “.

- Uma proposta brasileira de agenda e a pesquisa em saúde

A formulação de uma “Agenda do SUS” no Brasil, em 2001, abre novas perspectivas para o debate sobre CT&I em Saúde. Essa agenda já foi aprovada em âmbito nacional pelo Conselho Nacional de Saúde e adaptada pelos Estados às suas próprias realidades. Encontra-se, no momento, em discussão nos quase 6.000 municípios do País. É um processo de grande dinamismo que deve ser atentamente acompanhado pela área de CT&I. Nele poderá estar contido um ingrediente essencial para uma definição das prioridades em pesquisa. Apresentamos, na Tabela 17, um excerto da Agenda de Saúde do Estado de São Paulo, aprovada pelo Conselho Estadual de Saúde em maio de 2001<sup>45</sup>.

- Os Fundos Setoriais de Financiamento para a Pesquisa, as Agências e as peculiaridades da saúde

No Brasil, a área da Saúde detém experiência de 50 anos na realização de conferências nacionais, tendo realizado a undécima em dezembro de 2000. Desde a oitava, em 1986, as conferências deixaram de ser meras reuniões técnico-científicas e administrativas, passando a contar com expressiva representação de amplos setores da sociedade, precedidas de conferências estaduais e municipais, etapas importantes do processo, perfazendo quase 6.000 conferências municipais e 27 conferências estaduais. Todas indicam seus delegados, com os “usuários” do Sistema Único de Saúde (SUS) constituindo 50%.

Além dessas conferências nacionais, que traçam as grandes linhas, realizam-se conferências temáticas específicas, como as de Vigilância Sanitária e de Saúde Mental. Em 1994, realizou-se a I Conferência Nacional de C&T em Saúde, a mais recente manifestação coletiva da comunidade interessada na pesquisa em saúde. Entre outras medidas, preconizava-se a criação no Ministério da Saúde de uma Secretaria Nacional de C&T em Saúde, que não chegou a concretizar-se. As contribuições de São Paulo incorporadas como conclusões dessa conferência foram: a política de C&T em Saúde deve ser considerada como parte integrante da Política Nacional de Saúde,



como indicado na Constituição Federal e na lei 8080/90 que definiu o Sistema Único de Saúde (SUS); na área da Saúde, considera-se que a rede de serviços não é mero consumidor de C&T, mas, também, produtor. Como recomendação da Conferência, proposta por São Paulo, estava incluída a criação de Coordenações Estaduais de C&T em saúde, à semelhança do que já ocorre com a Secretaria de Saúde deste Estado.

### **Tabela 17**

Eixos e objetivos da Agenda de Saúde para o Estado de S. Paulo

#### **I - Redução da mortalidade infantil e materna**

1. Reduzir a taxa de mortalidade infantil
2. Reduzir a taxa de mortalidade materna
3. Reduzir a Taxa de cesáreas
4. Ampliar para 6 ou mais o número de consultas por pré-natal das parturientes do SUS
5. Reduzir os agravos nutricionais da infância
6. Monitorar a qualidade da água tratada

#### **II - Controle de doenças e agravos prioritários**

1. Melhorar a cobertura por DPT, sarampo, pólio, hepatite, BCG e Hib
2. Reduzir a incidência de casos da dengue
3. Reduzir o número de Municípios Infestados por *Aedes aegypti*
4. Manter erradicada a febre amarela urbana
5. Manter o Estado sem nenhum caso de sarampo autóctone
6. Aumentar a detecção dos casos de tuberculose pulmonar
7. Reduzir o coeficiente de prevalência de hanseníase
8. Reduzir a taxa de incidência de AIDS
9. Aumentar a cobertura dos exames Papanicolaou nas mulheres em idade de risco para câncer cérvico-uterino.
10. Aumentar a detecção e o tratamento do câncer de mama
11. Reduzir a morbi-mortalidade por doenças do aparelho circulatório
12. Reduzir a morbi-mortalidade por diabetes
13. Implantar sistema de acompanhamento de transtornos mentais severos e persistentes.
14. Melhorar a cobertura dos procedimentos coletivos em saúde bucal
15. Reduzir a morbi-mortalidade por causas externas
16. Reduzir o número de casos de acidentes de trabalho e de doenças ocupacionais

#### **III - Melhoria da gestão, do acesso e da qualidade das ações e serviços de saúde**

1. Ampliar e melhorar a qualidade do Programa Estadual de Assistência Farmacêutica Básica – Dose Certa
2. Implementação do Programa Estadual de Assistência Farmacêutica na Área de Saúde Mental
3. Manutenção e aprimoramento da assistência farmacêutica dos Programas de

Saúde do MS (DST/AIDS, diabete, tuberculose, hanseníase, leishmaniose, tracoma, meningites e outros)

4. Manutenção e aprimoramento do Programa de Fornecimento de Medicamentos de Alto Custo
5. Cadastrar os usuários SUS para emissão do Cartão Nacional de Saúde
6. Recadastrar os estabelecimentos de saúde
7. Acompanhar a aplicação de recursos em ações e serviços de saúde, conforme Emenda Constitucional 29/2000
8. Aumentar a oferta de transplantes
9. Fiscalizar a Indústria Farmacêutica
10. Fiscalizar as Unidades Hemoterápicas
11. Fiscalizar as Unidades de Diálise
12. Supervisionar os serviços de vigilância sanitária (DIR e municípios habilitados)
13. Implementar o Sistema Estadual de Regulação
14. Implementar o Componente Estadual do Sistema Nacional de Auditoria
15. Ampliar o acesso da população aos serviços de saúde bucal
16. Aprimorar o processo de fornecimento de órteses, próteses, materiais auxiliares e bolsas de ostomia
17. Implementar a criação de Centros ou Núcleos de Reabilitação para a Atenção Integral aos Portadores de Deficiência

#### **IV - Reorientação do modelo assistencial e descentralização**

1. Desenvolver o Processo de Regionalização em São Paulo
2. Expandir o Programa Saúde da Família (PSF)
3. Expandir as equipes de saúde bucal no PSF
4. Implementar a atenção à pessoa portadora de deficiência no PSF
5. Implementar a atenção à Saúde Mental no PSF
6. Ampliar a rede de equipamentos extra-hospitalares de saúde mental
7. Reduzir a taxa de gastos com Internações no gasto total com Saúde Mental pelo SUS.

#### **V - Desenvolvimento de recursos humanos do setor saúde**

1. Capacitação de profissionais para melhoria da qualidade dos serviços
2. Capacitação de gestores municipais
3. Formação e qualificação de profissionais

#### **VI - Qualificação do controle social**

1. Capacitar os Conselheiros de Saúde

Neste contexto, a iniciativa da FAPESP de criação do Programa de Políticas Públicas tem grande potencial de impacto na Saúde Coletiva e pode influenciar os novos rumos da pesquisa para esta área, mas continua restrita ao Estado de São Paulo e ainda não encontrou paralelo em outros Estados. Finalmente, no mesmo Estado, devem ser examinados os Institutos de Pesquisa da Administração Direta, ligados às Secretarias de Estado da Agricul-

tura, do Meio Ambiente, do Planejamento e da Saúde. Trata-se de um modo de organizar a pesquisa científica que vem do fim do século XIX e necessita urgente análise em profundidade em vista das reiteradas afirmações de que se trata de um modelo esgotado. De qualquer maneira, o Estado de São Paulo é único do País a exibir um número tão grande de institutos dessa natureza ligados à administração estadual. Nos demais estados, as instituições existentes são geralmente federais, à semelhança da Fundação Oswaldo Cruz na área da saúde. Os institutos de pesquisa da Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo, em seu conjunto, reproduzem uma estrutura praticamente igual à da Fiocruz, acrescida das vigilâncias epidemiológica e sanitária.

Essa experiência peculiar da construção do SUS no Brasil deve ser mencionada como um modelo participativo a explorar em outros âmbitos. As conferências nacionais de saúde são exemplos da maneira de organizar a participação social no debate, acompanhada da criação de numerosas instâncias deliberativas em âmbito nacional, estadual e regional para distribuir recursos no âmbito do SUS. Trata-se de um modelo de administrar conflitos atuais ou potenciais com quase dez anos de experiência, que se pode tomar como exemplo. Embora não possa ser transposto mecanicamente para modular a organização da Ciência, Tecnologia e Inovação na área da Saúde, também não deverá ser ignorado, até porque, como foi mencionado, faz parte da legislação brasileira a idéia de que o desenvolvimento de CT&I em Saúde deve ser parte integrante do SUS. Este é um tema para discussão que pode conduzir a uma verdadeira integração, mas corre o risco de cristalizar a segmentação da área da pesquisa em saúde se conduzido por radicalismos fundamentalistas que se negam à cooperação e vêem um inimigo em cada cientista de outra tendência disciplinar ou temática.

Outra característica peculiar à Saúde é representada pelo esforço de formular um modelo de “determinação global” que associa a pesquisa em saúde ao desenvolvimento *tout court*. Nossa inserção nesse projeto, conduzido pelo “Global Forum for Health Research”, exige uma análise da verdadeira situação do Brasil no mundo (fazemos parte dos países de *midlle income*, ou economias emergentes, na classificação do Banco Mundial). Não estamos no pólo da pobreza extrema, mas tampouco no seletor G-8, ou no grupo da OECD, que congrega os países de economias de mercado consolidadas. Portanto, também na pesquisa em saúde devemos contemplar as questões relacionadas com a “agenda inconclusa” e com o “duplo fardo”. Devemos nos preparar para atender, ao mesmo tempo, à proposta de superação do “*gap 10/90*” e à idéia novidadeira da Inovação, recentemente introduzida na paisagem científica brasileira e que diz respeito muito mais à incorporação de tecnologias avançadas do que à superação das brechas que nos conduziram ao atual quadro nosológico. Nesse sentido, o Projeto Prospectar do MCT não pode deixar de ser mencionado como uma tentativa válida no eixo da Inovação que

necessita de urgente contextualização, por lhe ser atribuída uma omissão quanto às questões relevantes no eixo da superação da “brecha 10/90”.

Promovida por iniciativa da Associação Brasileira de Pós Graduação em Saúde Coletiva (Abrasco) e da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), com apoio da Secretaria de Políticas de Saúde do Ministério da Saúde e da Organização Pan Americana da Saúde (OPAS), realizou-se, em Brasília, em dezembro de 2000, uma Oficina de Trabalho destinada a discutir a atualidade e as perspectivas para o desenvolvimento da pesquisa em saúde no Brasil, reunindo pesquisadores dos diversos segmentos da área para uma reflexão a respeito das propostas que circulam no meio científico relacionadas com novas fontes de fomento (Fundos Setoriais) e novas formas de organização (Agências). Buscava-se estabelecer as bases de um possível consenso entre pesquisadores, gestores e formuladores de políticas, tanto da área da saúde quanto da C&T.

Os principais pontos do Relatório da Oficina foram encaminhados pela Abrasco ao Ministro da Saúde<sup>46</sup>. Neles se evidencia que não houve consenso a respeito da criação de uma Agência Especializada no Amparo à Pesquisa em Saúde, vinculada ao Ministério da Saúde. Houve concordância quase absoluta no apoio à criação do Fundo Setorial para a Saúde, sob a coordenação do MCT, em apoio à proposta encaminhada ao Congresso Nacional, cujos recursos não proviessem apenas da produção e comercialização de bebidas alcoólicas e produtos derivados do tabaco, mas incluíssem a contribuição de todos os setores da economia que sejam reconhecidos como responsáveis pela “dívida sanitária”, nome genérico para o resultado social da circulação de produtos e atividades responsáveis por agravos à saúde, à semelhança dos que poluem o ambiente de forma notoriamente prejudicial à saúde das pessoas. A simples realização da Oficina representou um grande progresso. Porém, o óbvio conflito de interesses entre as exposições dos dois ministérios envolvidos e, especialmente, a maneira como não constam conclusões, mas apenas pontos principais no documento que a Abrasco entregou ao Ministro da Saúde, apontam para a necessidade de um diálogo presidido pela cordialidade e não pela desconfiança. Em particular, que seja mais amplo e democrático o debate sobre o Fundo Setorial, sua gestão e as propostas de diversas novas agências para a área que envolve as principais questões de ciência, tecnologia e inovação em saúde, incluindo as questões ambientais, éticas e regulatórias.

#### DOENÇAS INFECCIOSAS

A pesquisa em doenças infecciosas no Brasil é bastante antiga, bem estabelecida e conta com uma longa tradição. Grupos bem consolidados e com reconhecimento internacional, produção constante e formação de escola datam já da segunda metade do século XIX, como a assim chamada

Escola Tropicalista Bahiana. No final do século XIX e início do século XX, coincidindo com o crescimento científico na Europa e na América do Norte, fundaram-se centros de pesquisa importantes, como a hoje Fundação Oswaldo Cruz, no Rio de Janeiro e o Instituto Butantan, em São Paulo.

- Delimitação do campo

Ainda que bem estabelecida, ou talvez por isso mesmo, a delimitação do campo de atuação daquilo que denominamos de maneira abrangente como doenças infecciosas é bastante vaga, sem limites nítidos, formando um contínuo que tem interface com outros campos de pesquisa, como a Microbiologia, a Genética, as Ciências Agrárias, a Saúde Pública, a Ecologia, para citar apenas alguns. Nos dias correntes, em que uma parte considerável da pesquisa se faz em Biologia Molecular, os limites se tornam ainda mais imprecisos. Qualquer tentativa de delimitação mais rígida somente terá razão se fizer referência a alguma área aplicada específica. Essa dificuldade de delimitação cria problemas para a busca de indicadores, utilizando-se as diferentes bases de dados disponíveis, como, por exemplo, a base de dados Plataforma Lattes, do CNPq<sup>47</sup> ou algumas publicações existentes, como “A Pesquisa no Brasil”, do CNPq<sup>48</sup>.

- Centros tradicionais de pesquisa

Algumas instituições tradicionais concentram a maior parte de atividade de pesquisa, quase sempre associada ou aplicada à Saúde Pública. Estas instituições tiveram um papel muito importante no desenvolvimento e consolidação da pesquisa médico-biológica no País, de um modo geral, e em particular nas doenças infecciosas. Podemos citar alguns dos centros tradicionais de pesquisa, ainda líderes em produção científica e em formação de recursos humanos e pesquisadores: Fundação Instituto Oswaldo Cruz e suas instituições regionais, René Rachou (MG), Gonçalo Muniz (BA) e Aggeu Magalhães (PE); Instituto Evandro Chagas; Instituto Butantan; e Instituto Adolfo Lutz.

- Pós-graduação

Dos 156 programas de pós-graduação em Medicina reconhecidos pela Capes em 1996, 12 (7,69%) apresentam denominações específicas – doenças tropicais, doenças infecciosas, doenças infecciosas e parasitárias, medicina tropical, medicina tropical e infectologia – mostrando tanto um número considerável de programas de formação, considerando-se ser uma subárea, como uma dificuldade de denominação da área de atuação pelos próprios pesquisadores (Tabela 18). Ainda que a existência de cursos de pós-gradua-

ção não signifique especificamente atividade de pesquisa, é um indicador indireto. Desses 12 cursos, apenas cinco encontram-se fora da região Sudeste – um na região Norte, três na região Centro-Oeste e um na região Nordeste.

• Associações científicas

Há pelo menos duas associações científicas de ação claramente limitada às doenças infecciosas – a Sociedade Brasileira de Medicina Tropical e a Sociedade Brasileira de Infectologia. A primeira, mais antiga, não se caracteriza como uma associação profissional, ao contrário da segunda, que delimita seu campo a médicos especialistas, sendo, portanto, também uma associação profissional. Outras associações científicas têm atuação no campo das doenças infecciosas, mas transcendem este campo de muito, como as sociedades de microbiologia, parasitologia e imunologia

**Tabela 18**

Cursos de Pós-Graduação em doenças Infecciosas. Capes, 1.996

<i>Denominação</i>	<i>Instituição</i>	<i>UF</i>	<i>Tipo</i>
Doenças infecciosas	UFES	ES	M
Doenças infecciosas e parasitárias	USP	SP	M/D
Doenças infecciosas e parasitárias	UNIFESP	SP	M/D
Doenças tropicais	UFPA	PA	M
Doenças tropicais	UNESP/Botucatu	SP	M/D
Medicina (Doenças infecciosas e parasitárias)	UFRJ	RJ	M/D
Medicina (Medicina tropical)	UFMG	MG	M/D
Medicina tropical	UNB	DF	M/D
Medicina tropical	UFG	GO	M
Medicina tropical	UFPE	PE	M/D
Medicina tropical	FIOCRUZ	RJ	M/D
Medicina tropical e infectologia	FMTM	MG	M

• Publicações

Das 22 publicações brasileiras da área da saúde disponibilizadas pelo Scielo<sup>49</sup>, quatro são dedicadas às doenças infecciosas, ainda que a mais antiga delas, “Memórias do Instituto Oswaldo Cruz”, seja mais abrangente, seus artigos são majoritariamente na área (Tabela 19).

**Tabela 19**

Periódicos brasileiros disponibilizados pelo Scielo<sup>33</sup> (em destaque as revistas de conteúdo predominantemente relacionado a doenças infecciosas)

---

***Título do Periódico***

Acta Cirurgica Brasileira  
Anais da Academia Brasileira de Ciências  
Arquivos Brasileiros de Cardiologia  
Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia  
Arquivos de Neuro-Psiquiatria  
**Brazilian Journal of Infectious Diseases**  
Brazilian Journal of Medical and Biological Research  
Cadernos de Saúde Pública  
História, Ciências, Saúde - Manguinhos  
**Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**  
Pesquisa Odontológica Brasileira  
Psicologia: Reflexão e Crítica  
Psicologia: Teoria e Pesquisa  
Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular  
Revista Brasileira de Psiquiatria  
Revista da Associação Médica Brasileira  
**Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**  
Revista de Odontologia da Universidade de São Paulo  
Revista de Saúde Pública  
Revista do Hospital das Clínicas  
**Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**  
Sao Paulo Medical Journal

---

• Fontes de financiamento

Além das agências tradicionais de fomento de pesquisa no Brasil, como o CNPq, a Fapesp, além da Faperj e Fapemig, o Ministério da Saúde apóia pesquisa na área de doenças infecciosas, geralmente aplicada à saúde pública, além de multinacionais na área de medicamentos e vacinas, que apóiam a realização de ensaios clínicos, a imensa maioria, no entanto, ligados a temas de seu interesse específico.

• Indicadores disponíveis

A dificuldade de delimitação da área torna difícil a análise dos dados e indicadores. A maioria dos bancos de dados das instituições de fomento de pesquisa não delimita o campo, estando as pesquisas em doenças infecciosas distribuídas nas áreas de Saúde Coletiva, Medicina, Microbiologia e Imunologia. Um indicador indireto é a Plataforma Lattes do CNPq: mesmo não apresentando uma divisão que permita avaliar diretamente os grupos de pesquisa em doenças infecciosas e suas linhas, algumas buscas permitem ter uma idéia geral da atividade na área.

*Plataforma Lattes.* Uma pesquisa por palavra-chave da linha de pesquisa, colocando-se “infecção” como palavra-chave, indicará a existência de 116 linhas de pesquisa (impossível separar linhas de pesquisa em veterinária ou odontologia). Se o termo “infecção” é colocado como nome da linha de pesquisa, teremos 105 linhas; comparativamente o termo “rim” resultará em apenas 16 linhas, ou “coração” selecionará 39 linhas. Quando usamos o termo “infecção” como palavra-chave da produção teremos 1.797 publicações dos mais variados tipos, enquanto que para “rim” teremos 273 publicações e para “coração”, 460.

- Programas especiais: as doenças emergentes e re-emergentes como exemplo de indução de pesquisa

Ainda que o Plano Plurianual de Ciência e Tecnologia do Governo Federal PPA 1996/1999 (Ministério da Ciência e Tecnologia)<sup>50</sup> não contemple especificamente as doenças infecciosas, o próprio Ministro da Ciência e Tecnologia, em discurso proferido em setembro de 2000<sup>51</sup>, é mais específico quanto às necessidades de pesquisa em doenças infecciosas, refletindo já o Plano Plurianual da segunda gestão do atual governo, o Plano Avança Brasil:

“Com dimensões territoriais continentais e forte desigualdade de renda, o Brasil conjuga, simultaneamente, necessidades na área da saúde características tanto de economias desenvolvidas – como diversos tipos de câncer e doenças coronarianas – quanto de economias com menor grau de desenvolvimento – como as doenças tropicais infecto-contagiosas, a exemplo do cólera, dengue, febre amarela –, além de doenças emergentes...

...por fim, uma política de combate a doenças infecto-contagiosas e parasitárias, emergentes e reemergentes, exige capacitação para produção de vacinas, como forma a ampliar a produção local”.

As doenças emergentes e re-emergentes constituem o único programa específico de indução de pesquisa na área de doenças infecciosas no Brasil. Novamente aqui temos uma definição vaga, que compreende praticamente toda a área, uma vez que as doenças infecciosas, quase que sem exceção, passam por transformações.

As doenças emergentes são objeto do Programa de Indução Estratégica de Pesquisa em Saúde, do CNPq<sup>52</sup>: “A primeira dessas áreas temáticas eleitas para apoio foi o das Doenças Infecciosas e Parasitárias Novas, Emergentes e Reemergentes. A prioridade à temática lhe foi conferida devido a sua importância estratégica, uma vez que doenças dessa categoria voltaram, nas últimas décadas, a se constituir em preocupação de órgãos governamentais e comunidade científica. Nos países em desenvolvimento como o Brasil, os problemas sociais e ambientais criam meios propícios para a proliferação de doenças desse tipo”.



Na verdade, essa linha de fomento apenas concentra o financiamento em áreas de maior interesse em saúde pública, levando-nos de volta à situação do início de século XX, quando se empreendeu um reconhecimento da nosologia infecciosa brasileira, a partir dos institutos oficiais de pesquisa de São Paulo e Rio de Janeiro. Outros programas especiais de indução de pesquisa, como o projeto Genoma da Fapesp, refletem-se na qualidade de pesquisa em doenças infecciosas, ainda que não sejam específicos.

• Considerações finais

A pesquisa em doenças infecciosas no Brasil além de ser antiga, apresenta algumas evidências de ser a sub-área de maior importância em termos de volume de pesquisadores, número de centros e grupos de pesquisa assim como de produção, no que pese a dificuldade de delimitá-la de maneira precisa.

Vários programas especiais apóiam a pesquisa na área, explícita ou implicitamente, resultando numa base de apoio maior do que para outras áreas na medicina, uma vez que a área de doenças infecciosas, *sensu lato*, abrange a saúde coletiva e algumas áreas básicas.

Caberia, porém, procurar analisar com maior cuidado as verdadeiras proporções da massa crítica de pesquisadores, centros e a sua produção, levando a cabo avaliações com uma delimitação de campo bem clara.

Ainda que seja difícil avaliar em profundidade a extensão atual da pesquisa em doenças infecciosas no Brasil, há indícios de ter havido um crescimento da área, assim como a recuperação e manutenção de centros tradicionais de pesquisa, como a Fundação Oswaldo Cruz. O crescimento da base de pesquisadores, por sua vez, é sugerido pelo número de cursos de pós-graduação, embora não haja dados disponíveis para avaliar o número total de bolsistas no País e no exterior.

A MEDICINA E A NOVA BIOLOGIA

*We are living through an extraordinary period of development in the biological sciences. As the techniques of cell and molecular biology are applied to medical research over the next years, we shall undoubtedly solve many of the remaining mysteries of human pathology. Indeed I suspect that the medical sciences are about to move into the most exciting and productive phase of their evolution.*<sup>53</sup>

As previsões de Sir David Weatherall confirmaram-se plenamente, à medida que a revolução causada pela nova genética transferiu-se das bancadas da investigação básica para as aplicações clínicas, inicialmente no diagnóstico e prevenção de doenças monogênicas, e a seguir para as doenças

complexas. Dos métodos relativamente simples de detecção de mutações no DNA evoluímos para abordagens que permitem identificar padrões diversos de expressão gênica, com aplicações diagnósticas, preventivas e para intervenções terapêuticas. As abordagens de manipulação, separação e expansão *ex vivo* de diferentes células progenitoras obtidas de embriões, de sangue de cordão umbilical e de adultos tornaram-se uma realidade que promete modificar muitas das práticas médicas em curto prazo.

Qual nossa posição neste panorama? Um conjunto de iniciativas da FAPESP<sup>54</sup>, do MCT e do CNPq articulou em curto tempo uma ampla qualificação de pesquisadores e a expansão da infraestrutura de mais de uma centena de laboratórios no País para a pesquisa em genômica e biologia celular. O sucesso alcançado por esses programas na área básica<sup>55</sup> está transferindo-se para as aplicações clínicas: a utilização de métodos de Biologia Molecular para diagnóstico e prevenção de doenças já é rotineira em muitos centros. Iniciativas em curso envolvem o uso de numerosos marcadores moleculares como fatores de risco ou de prognóstico, avaliação de expressão gênica em doenças específicas e seu valor diagnóstico e prognóstico, manipulação de células para tratamento de câncer e transplantes para regeneração de tecidos destruídos ou constitutivamente anormais, organização de bancos de sangue de cordão umbilical, entre outros.

A consolidação desta área, transferindo para a clínica as aplicações da Biologia Molecular e Celular, é indispensável não apenas para que a prática médica no País mantenha-se atualizada e competitiva, mas também para permitir as interações com o setor produtivo para implantar um parque biotecnológico nacional.

## **SUMÁRIO E RECOMENDAÇÕES GERAIS**

1. Reverter a noção de que o ensino profissional de medicina pode ser feito de maneira desvinculada da geração de conhecimento na área médica, procurando restabelecer o vínculo entre ensino e pesquisa médica.
2. Apoiar a criação, expansão ou consolidação de novos centros que possam servir para o desenvolvimento integrado de pesquisa e ensino na área de saúde, segundo o modelo das instituições bem sucedidas do País.
3. Correções dos desvios da pós-graduação na área médica, para fazer com que volte a cumprir sua função central de formação de pesquisadores.
4. Recuperação dos hospitais universitários como centros de pesquisa médica.
5. Promover a pesquisa colaborativa em rede como forma de associar esforços e recursos para responder rapidamente a questões relevantes. Além de sua eficiência para responder a questões médicas, este modelo propicia a colaboração entre centros de maior tradição em pesquisa e núcleos em for-

mação, facilitando expansão da massa geradora de pesquisa no País, consoante o objetivo 2.

6. Promover a pesquisa médica em associação com pesquisa básica para geração de conhecimento genuinamente nacional em questões específicas, e também como forma de estruturar um setor produtivo na área de tecnologia ligada à saúde. Este modelo se contrapõe à tendência atual de usar os recursos profissionais e universitários médicos do País a serviço da indústria farmacêutica internacional, limitando sua atuação à condução de testes de medicamentos e testes diagnósticos planejados e desenvolvidos no exterior.

7. Apoio à pesquisa básica e aplicada em doenças infecciosas, condições maternas e perinatais e desnutrição, no que diz respeito ao desenvolvimento de novos conhecimentos que possam contribuir para soluções de problemas específicos do País.

8. Apoio à pesquisa básica e aplicada em doenças não transmissíveis, em especial doenças cardiovasculares, câncer, hipertensão, diabete e condições associadas ao envelhecimento, buscando em particular soluções para situações específicas do País, e soluções para questões que permitam ao País aumentar sua competitividade da área de Tecnologia de Saúde.

9. Estimular a pesquisa em Epidemiologia, Administração de Saúde e Políticas de Saúde, em particular buscando distinguir as situações que demandam novo conhecimento ou nova tecnologia que podem ser promovidos pela pesquisa, das soluções dependentes de implantação de ações de planejamento ou implantação de políticas públicas ou de desenvolvimento social.

10. Apoio a todos os aspectos de pesquisa em Saúde Mental, incluindo a formação de recursos humanos e de pesquisadores qualificados, tanto no que diz respeito às suas bases biológicas como de assistência aos pacientes, determinantes sociais e organização de serviços, com especial atenção à dependência de álcool, a condição mais importante quantitativamente em Saúde Mental.

11. Estimular a educação médica, formação de pessoal especializado e a pesquisa em todos os aspectos relacionados com o envelhecimento e a geriatria, desde os conhecimentos básicos de Bioquímica, Citologia e Biologia Molecular, até as aplicações aos cuidados individuais e coletivos, determinantes da qualidade de vida, manutenção da autonomia, organização e gestão de serviços de Saúde.

12. A consolidação da pesquisa em Biologia Celular e Molecular aplicada à medicina é indispensável não apenas para que a prática médica no País mantenha-se atualizada e competitiva, mas também para permitir as interações com o setor produtivo para implantar um parque biotecnológico nacional.

13. Selecionar conjuntos de objetivos restritos que devem ter prioridade para promover o desenvolvimento tecnológico, segundo interesses eco-

nômicos para o País e sua importância como problema de saúde. Articular investimentos públicos e privados, promovendo a integração de grupos científicos capacitados a resolver as questões científicas ou tecnológicas relacionadas com o setor industrial ou de serviços interessado em desenvolver ou implantar a inovação tecnológica.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Samaja J – *A Reprodução Social e a Saúde - elementos teóricos e metodológicos sobre a questão das relações entre a saúde e condição de vida*. Coleção Saúde coletiva, ISC/UFBA. Salvador: Casa da Qualidade Editora, 2000.
- 2 McKeown T, Lowe CR – *An Introduction to Social Medicine*. Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications, Second Printing, 1968.
- 3 Carvalheiro JR – Os desafios para a saúde, in Dossiê Saúde Pública. *Estudos Avançados*, IEA/USP, São Paulo volume 13, número 35: 7-20, 1999.
- 4 Red de Investigación en Sistemas y Servicios de Salud, 2001. <http://www.ensp.fiocruz.br/parcerias/redsaud>
- 5 Global Forum for Health Research – *The 10/90 Report on Health Research 2000*. Geneva: ed. Global Forum for Health Research; 155 + xix p., 2000. <http://www.globalforumhealth.org>
- 6 Rivera FJU – *Agir comunicativo e planejamento social: uma crítica ao enfoque estratégico*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 253 p., 1995.
- 7 World Bank – *World Development Report 1993: Investing in Health*. Washington D.C.: World Bank, 1993.
- 8 U.S.A. – U.S. Department of Health and Human Services. *Healthy People 2010*. 2nd ed. With Understanding and Improving Health and Objectives for Improving Health. 2 vols. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, November 2000. <http://www.health.gov/healthypeople/Document>
- 9 <http://www.globalforumhealth.org/>
- 10 Ramos LR *et al*. Envelhecimento populacional: uma realidade brasileira. *Revista de Saúde Pública*, 21:211-224, 1987.
- 11 Siegel JS, Hoover SL. Demographic aspects of the health of the elderly to the year 2000 and beyond. *World Health Statistics Quarterly*. 35:132-202, 1982.
- 12 Davies AM. Epidemiology and the challenge of aging. *Epidemiology* 14:9-19, 1985.
- 13 MacFadyen DM. International demographic trends. In Kane RL *et al*. *Improving the health of older people*. New York: Oxford University Press, 1990, p. 19-29.
- 14 Ferriolli E, Iucif Jr N, Moriguti JC. Reflexos do envelhecimento populacional nas interações de um hospital terciário de referência. *Gerontologia* 4: 31,1996.
- 15 Almeida-Filho N, Mari JJ, Coutinho E, Franca JF, Fernandes JG, Andreoli SB, Busnello EA – Estudo multicêntrico de morbidade psiquiátrica em áreas urbanas brasileiras (Brasília, São Paulo, Porto Alegre). *Revista ABP-APAL*, 14, 3, 93-104, 1992.
- 16 Almeida-Filho N, Mari JJ, Coutinho E, Franca J, Fernandes J, Andreoli SB, Busnello ED – Brazilian multicentric study of psychiatric morbidity. *British Journal of Psychiatry*, 171, 524-529, 1997.
- 17 Mari JJ – Morbilidad psiquiátrica en centros de atención primaria. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, 104, 2, 171-181, 1987.
- 18 Mari JJ, Streiner DL – The management of minor affective disorders in the general practice setting: A critical review of therapeutic interventions. *Malaysian Journal of Psychiatry*, 2, 1, 18-37, 1994.

- 19 Mari JJ, Almeida N, Coutinho E, Andreoli SB, Miranda CT, Streiner DL – The epidemiology of psychotropic use in the city of Sao Paulo. *Psychological Medicine*, 23, 467-474, 1993.
- 20 Mari JJ – Psychiatric morbidity in three primary medical care clinics in the city of São Paulo. Issues on the mental health of the urban poor. *Social Psychiatry*, 22, 129-138, 1987.
- 21 Murray CJL, Lopez AD – *The Global Burden of Disease. A comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020*. The Harvard School of Public Health, World Health Organization and The World Bank, Harvard University Press, Boston, 1996.
- 22 Leitão RJC – *Utilização de Recursos e Custos Diretos da Esquizofrenia para o Setor Público do Estado de São Paulo*. Tese de Mestrado em Epidemiologia, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2001.
- 23 Coutinho DM – *Prevalência de doenças mentais em uma comunidade marginal. Um estudo do Maciel*. Tese de Mestrado no Departamento de Medicina Preventiva da Universidade Federal da Bahia, 1976.
- 24 Santana VS – *Estudo epidemiológico das doenças mentais em um bairro de Salvador*. Instituto de Saúde do Estado da Bahia, Série de Estudos em Saúde 3, Salvador, 1982.
- 25 Almeida-Filho N, Santana VS, Coutinho DM, Aguiar W, Antonissen D – Prevalência de Desordens Mentais em uma área industrial metropolitana de Salvador. *Universitas*, 32, 59-72, 1983.
- 26 Mari JJ – Desigualdade social e saúde mental no Brasil. *Boletim de Psiquiatria*, 25, 5-10, 1992.
- 27 Blay SL, Mari JJ, Ramos LR, Ferraz M PT – The use of the Clinical Interview Schedule for the evaluation of mental health in the aged community. *Psychological Medicine*, 21, 525-530, 1991.
- 28 Borges LH – *Transtornos mentais entre trabalhadores de uma usina siderúrgica*. Tese de Mestrado no Departamento de Medicina Preventiva da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.
- 29 Mari JJ, Iacoponi E, Williams P, Simões O, Silva JBT – Detection of psychiatric morbidity in the primary medical care setting in Brazil. *Revista de Saúde Pública*, 21, 6, 501-507, 1987.
- 30 Lima MS, Hotopf M, Mari JJ, Béria JU, Bastos ABD, Mann A – Psychiatric disorder and the use of benzodiazepines: an example of the inverse care law from Brazil. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 34, 316-322, 1999.
- 31 <http://www.datasus.gov.br>
- 32 Bustelo P, Mari JJ, Fernandez C, Andreoli SB, Levav I – A tranquil city with a high tranquilizer intake. *Lancet*, 347, 1264-1265, 1996.
- 33 Lima MS, Béria JU, Tomasi E, Mari JJ. (1998). Use of amphetamine-like appetite suppressants: a cross-sectional survey in Southern Brazil. *Substance Use & Misuse*, 33, 8, 1711-1719, 1998.
- 34 Instituto Nacional do Câncer – Estimativas de Incidência e Mortalidade por Câncer no Brasil. Ministério da Saúde, Brasil, 2001.
- 35 Bonalume Neto R – Brazilian scientists team up for cancer genome project. *Nature* 398:450, 1999.
- 36 de Souza SJ, et al – Identification of human chromosome 22 transcribed sequences with ORF expressed sequence tags. *Proceedings of the National Academy of Sciences of U S A* 97:12690-12693, 2000.
- 37 Dias Neto E, et al – Shotgun sequencing of the human transcriptome with ORF expressed sequence tags. *Proceedings of the National Academy of Sciences of U S A* 97:3491-3496, 2000.

- 38 *Scientific American*, September 2001.
- 39 Mendes Gonçalves – *Tecnologia e Organização Social das Práticas de Saúde: características tecnológicas do processo de trabalho na rede estadual de Centros de Saúde de São Paulo*. Tese de Doutorado, FMSUP, São Paulo, 1986.
- 40 INCLEN (2001) International Clinical Epidemiology Network. <http://www.inclen.org>
- 41 Isaacs D, Fitzgerald D – Seven alternatives to evidence based medicine. *British Medical Journal* 319:1618-1618, 1999.
- 42 Lalonde M – (1974) *A New Perspective on the Health of Canadians*. Minister of Supply and Services Canada, 1981. Cat. No. H31-1373. ISBN 0-662-50019-9, 1974. <http://www.hc-sc.gc.ca/hppb/healthpromotiondevelopment>
- 43 Center for Disease Control (CDC) – Prevalence of Healthy Lifestyle Characteristics - Michigan, 1998 and 2000. *MMWR weekly* 50(35):758-761, 2001.
- 44 CNPq (2001) Diretório dos Grupos de Pesquisa – 5.0. <http://www.cnpq.br>
- 45 <http://www.saude.sp.gov.br>
- 46 ABRASCO – A Reforma do Fomento e do Financiamento à Pesquisa em Saúde no Brasil. *Boletim da Abrasco*, ano XVIII, número 80, 2001.
- 47 <http://www.cnpq.br/plataformalattes>
- 48 <http://www.mct.gov.br/publi/pesquisa-no-brasil.pdf>
- 49 <http://www.scielo.br>
- 50 [http://www.mct.gov.br/publi/ppa\\_1996-99.pdf](http://www.mct.gov.br/publi/ppa_1996-99.pdf)
- 51 <http://www.mct.gov.br/ministro/conferencias/lesocerebrais.htm>
- 52 <http://www.cnpq.br/areas/saude/inducaoestrategica.htm>
- 53 Weatherall DJ – *The New Genetics and Clinical Practice*. Oxford University Press, Oxford, 2nd edn, 1985.
- 54 <http://www.fapesp.br>
- 55 Collins P – Fruits of cooperation. *The Economist*, edn 8180, July 22-29, 2000.

## Os Autores

MARCO ANTONIO ZAGO (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), médico e professor na Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (USP).

JAIR J. MARI. É doutor pelo Instituto de Psiquiatria da Universidade de Londres (Reino Unido) e professor no Departamento de Psiquiatria da Escola Paulista de Medicina de São Paulo (Unifesp).

JOSÉ DA ROCHA CARVALHEIRO. É coordenador na Coordenação dos Institutos de Pesquisa da Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo.

LUIS JACINTHO DA SILVA. É professor da disciplina de Doenças Transmissíveis na Faculdade de Ciências Médicas da Universidade de Campinas (Unicamp).

PROTÁSIO LEMOS DA LUZ. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC) e professor na Universidade de São Paulo (USP).

*Academia Brasileira de Ciências*

# Área de Ciências da Terra

## As Ciências da Terra no Brasil: o estado da arte

ROBERTO DALL'AGNOL

ARI ROISENBERG

JOÃO BATISTA CORRÊA DA SILVA

PEDRO LEITE DA SILVA DIAS

REINHARDT ADOLFO FUCK

### INTRODUÇÃO

As Ciências da Terra têm como finalidade primordial a caracterização do meio físico de nosso planeta e a compreensão dos processos naturais que nele ocorrem ou ocorreram no passado, bem como suas interações. Elas englobam estudos voltados para a terra sólida, a hidrosfera e a atmosfera, centrando-se geralmente nos processos que ocorrem na litosfera e na superfície terrestre. Paralelamente, buscam contribuir para o conhecimento e aproveitamento racional dos recursos naturais, com destaque para os recursos minerais e hídricos. Fornecem informações fundamentais para o planejamento do uso e ocupação do espaço físico e permeiam o nosso cotidiano, como bem exemplificado pela crescente importância atribuída às informações meteorológicas. Exercem, ainda, papel destacado nas questões relacionadas ao meio ambiente e sua preservação.

Por se ocupar não apenas do presente, mas também da reconstituição do passado de nosso planeta, as Geociências se particularizam entre as Ciências Exatas e da Terra por terem uma conotação histórica, o que, em certa medida, as aproxima metodologicamente das Ciências Sociais. O tempo geológico, medido em milhares ou mais comumente milhões de anos, é uma variável que não pode ser reproduzida em laboratório.

As Ciências da Terra são constituídas por diversas subáreas, cuja definição apresenta um certo grau de subjetividade, que se reflete em pequenas variações na maneira como são classificadas no meio científico. Para efeito do presente trabalho, adotou-se, com ligeira modificação, a classificação proposta por Cordani (1996) e Campos *et al.* (1999), os quais distinguem as seguintes subáreas: Ciências Geológicas, Ciências Atmosféricas, Ciências

Geofísicas, Geografia Física e Oceanografia (Geológica e Física). As especialidades contidas em cada uma destas subáreas são apresentadas nos trabalhos mencionados.

Pretende-se, no presente documento, discutir o estado da arte das Ciências da Terra no Brasil, comparando-o com o cenário internacional, avaliar a importância sócio-econômica da área e apresentar uma visão prospectiva para a próxima década. Trabalhos com objetivos análogos foram produzidos ao longo da década anterior e serviram como referencial para a avaliação atual da área (Suslick, 1992; Cordani, 1996; SBG, 1996; Fontes, 1996; Fernandes, 1998; Campos *et al.*, 1999).

## BREVE HISTÓRICO

Serão destacados aqui apenas os aspectos considerados determinantes na evolução das Ciências da Terra no País, podendo ser encontradas informações mais detalhadas nos trabalhos citados anteriormente.

Apesar da importância econômica do ciclo do ouro para o País no período colonial e da existência, desde o império, de pesquisadores de destaque ligados às Ciências da Terra, estas sempre tiveram papel subordinado nos diferentes níveis da Educação e na pesquisa. Após a fundação da Escola de Minas de Ouro Preto e a criação do Serviço Geológico (hoje correspondente ao Departamento Nacional da Produção Mineral) nas décadas finais do Segundo Império, o primeiro fato de grande impacto na área foi a criação da Petrobras em 1953, que gerou importante demanda por profissionais em Geologia, levando, em 1957, ao surgimento da Campanha Nacional de Formação de Geólogos (Cage) e à instalação de diversas escolas de Geologia nas principais capitais do País. Os primeiros geólogos oriundos dessas escolas chegaram ao mercado de trabalho há cerca de 40 anos e somente na década de 60 passaram a existir cursos de graduação em Geologia em todas as regiões do País. A Geografia Física sempre funcionou acoplada aos departamentos de Geografia das principais universidades, sobretudo do Sudeste do País, onde, apesar da sua relevância, exerceu papel subordinado. Os primeiros cursos de graduação e de pós-graduação em Meteorologia surgiram no final das décadas de 60 e 70, respectivamente. A formação expressiva de profissionais especializados em Geofísica e Oceanografia é ainda mais recente. O número restrito de profissionais especializados, a fragilidade do sistema de pós-graduação e as limitações para o desenvolvimento de pesquisas foram determinantes para impossibilitar a plena afirmação científica da área antes da década de 80.

No início da década de 70, buscando o fortalecimento do setor mineral, o governo militar criou a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais



(CPRM), transformada recentemente em Serviço Geológico do Brasil, e a empresa Rio Doce Geologia e Mineração (Docegeo), subsidiária da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Estas empresas, juntamente com a Petrobras, empresas estaduais de mineração e as instituições federais de ensino superior, seriam a partir de então os grandes empregadores dos profissionais de Geologia e Geofísica. A forte dependência em relação ao setor estatal, tanto em termos de mercado de trabalho, quanto no que se refere à Educação e C&T, passa a ser uma característica marcante da área. Este é um condicionante importante no momento atual, quando o Estado reduz acentuadamente sua participação na economia e busca-se estimular a participação do setor privado (Livro Verde; Suslick, 2001).

Na década de 70, deu-se a expansão expressiva dos levantamentos geológicos no País, através da CPRM e do projeto Radambrasil, este responsável por estudos pioneiros da Amazônia, integrando geologia, geomorfologia, vegetação, solos e uso potencial da terra a partir de levantamento sistemático da região com imagens de radar. Multiplicam-se, também, as iniciativas de empresas estatais e privadas, voltadas para a prospecção de minérios e são realizadas descobertas importantes. Com a participação decisiva de CNPq e Capes, inicia-se, paralelamente, um grande esforço para a formação de pesquisadores no exterior, visando ampliar a massa crítica no País e alicerçar o crescimento da pós-graduação.

Nos anos 80, a ampliação do número de doutores na área levou a uma expansão gradual da pesquisa e possibilitou a disseminação da pós-graduação no País, modificando radicalmente o quadro anterior. Recursos fornecidos pelo PADCT I viabilizam, na segunda metade da década, a compra de equipamentos, instalação de novos laboratórios e desenvolvimento de projetos de maior porte. Pela primeira vez na história das Ciências da Terra no País dispunha-se, lado a lado, de uma massa crítica significativa de pesquisadores e de meios modernos para a pesquisa (o mesmo se verificou igualmente em outras áreas do conhecimento; cf. Krieger & Galembeck, 1996). Nesse período, o governo reduzira drasticamente o ritmo de levantamentos básicos e o setor mineral enfrentava dificuldades, agravadas substancialmente no final da década, quando a Constituição Federal de 1988 restringiu a participação de empresas estrangeiras na exploração mineral. Apesar deste aspecto negativo, a consolidação da área iniciou-se nessa década. A expansão foi mais expressiva na subárea de Geologia. Verificou-se também claro fortalecimento nas demais subáreas, porém, por suas especificidades ou por apresentarem maior fragilidade, as mesmas não se expandiram para todo o País, permanecendo restritas a menor número de universidades ou centros de pesquisa.

Este quadro vai se refletir em salto qualitativo expressivo, já visível no início da década de 90. Ao longo da mesma persiste a expansão gradual do

sistema de pós-graduação e dá-se a sua consolidação. O PADCT II prossegue na linha adotada no PADCT I e, apesar das graves instabilidades que afetaram o setor de C&T em diferentes momentos da década, a área permanece em crescimento. Com a ampliação do número de programas de doutorado no País, em particular na subárea de Geologia, o eixo da formação de doutores desloca-se gradualmente do exterior para as instituições nacionais. Permanece, porém, a necessidade de formação de doutores no exterior em determinadas subáreas ou especialidades ainda não inteiramente cobertas pelo sistema brasileiro, como é o caso da Oceanografia. Na subárea de Ciências Atmosféricas, apesar da existência do serviço operacional de coleta de dados desde o início do século, um salto de qualidade marcante ocorre em 1994, com a criação no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Isto permitiu que as previsões numéricas de tempo e clima passassem a ser realizadas no Brasil, criando condições para o surgimento de novas linhas de pesquisa tanto no Inpe, como em universidades.

A Eco-92 coloca a questão ambiental no centro do debate e surge a expressão 'desenvolvimento sustentável' que usada, ora com muita propriedade (cf. Clüsener-Godt & Sachs, 1995), ora nem tanto, vai marcar a década. No início do milênio, em função da crescente importância dos problemas relacionados ao meio ambiente e também das tendências atuais da pesquisa, as Ciências da Terra passam a fazer face aos desafios da necessidade de maior integração entre suas diversas subáreas e destas com as demais áreas do conhecimento. Também são afetadas, ainda que indiretamente, pelos processos de privatização e pelas novas funções de regulação atribuídas ao estado no País.

## **ÁVALIAÇÃO DA ÁREA**

### APRESENTAÇÃO DE DADOS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA ÁREA

O ensino de graduação em Ciências da Terra, de modo geral, tem se expandido muito timidamente no País. Existem 19 cursos de graduação em Geologia, 2 em Geofísica (mais um em processo de instalação), 6 em Meteorologia e 8 em Oceanografia. Os cursos de Geografia são muito numerosos, porém poucos entre eles enfatizam a subárea de Geografia Física. A expansão da Geologia e Geofísica foi contida essencialmente pelas limitações do mercado do trabalho, que geraram forte resistência ao crescimento desordenado de novos cursos nestas subáreas por parte das associações de classe e sociedades científicas. A Oceanografia é alvo de uma expansão re-

cente, denotando o reconhecimento de sua importância no cenário nacional. Durante as décadas de 80 e 90 muitos cursos da área de Ciências da Terra defrontaram-se com altas taxas de evasão e baixa demanda nos exames vestibulares. O quadro foi mais crítico no caso da Geofísica. Esta tendência está sendo, aparentemente, em parte revertida nos últimos anos, mas a questão exige acompanhamento.

A pós-graduação em Ciências da Terra, ao contrário da graduação, tem apresentado um crescimento gradual, porém relativamente rápido. Nos últimos 15 anos houve expansão de 62% nos cursos de mestrado e de 100% nos de doutorado (Tabela 1; Figura 1). No caso da subárea de Geologia, a expansão tem se verificado não apenas nas regiões Sul e Sudeste, mas também nas demais, fazendo com que a rede de pós-graduação cubra todo o País. Constatou-se que o total de alunos matriculados no mestrado cresceu pouco e mostra uma clara tendência à estabilização nos últimos anos, ao passo que o de doutorado aumentou geometricamente (Tabela 1; Figura 1). Este crescimento é grandemente influenciado pela predominância do doutorado sobre o mestrado nos programas mais maduros. Em 1987, a relação entre os alunos matriculados no mestrado e no doutorado era de 3,76, enquanto que em 2000 ela é de 1,21. Confrontando os dados de 1987 e 2000, observa-se que o número de mestres e doutores titulados cresceu 127% e 505%, respectivamente (Tabela 1; Figura 1), ao passo que a quantidade de docentes permanentes atuantes nos diferentes cursos cresceu apenas 30% (Tabela 1; Figura 1). Em meados da década de 80, ainda havia muitos docentes permanentes da pós-graduação sem doutoramento. Este quadro é totalmente distinto do atual, revelando que, nestes 15 anos, houve uma acentuada melhoria na qualificação dos docentes permanentes (Tabela 1). O crescimento exponencial de doutores titulados é um aspecto altamente relevante, pois disponibiliza novos pesquisadores para a renovação e expansão da área e demonstra sua maturidade. Na recente avaliação realizada pela Capes, definindo a classificação dos cursos com base em seu desempenho no triênio 1998-2000, quatro cursos da área foram contemplados com a nota máxima, equiparando-se, dentro dos padrões vigentes, a cursos similares de instituições internacionais de renome. Sete outros cursos receberam na avaliação nota 5, correspondente a cursos de nível A da Capes, ao passo que 23 cursos receberam nota 4 e apenas nove nota 3, dos quais vários são cursos novos sem tempo para amadurecimento e consolidação.

Os dados demonstram, portanto, que houve crescimento quantitativo e qualitativo muito acentuado da pós-graduação da área (Figura 1). Os docentes melhoraram a sua qualificação e o sistema consolidou-se e passou a atuar com mais eficiência. Isto se reflete na formação de maior número de pesquisadores em menor prazo de tempo, resultado este obtido sem diminui-

ção de qualidade, pois os indicadores da pós-graduação são inteiramente coerentes com o que é revelado pela análise da produção científica, discutida adiante.

**Tabela 1**  
Dados da pós-graduação em Ciências da Terra

Ano	Cursos		Alunos Matriculados		Alunos Titulados		Docentes Permanentes	
	Mestrado	Doutorado	Mestrado	Doutorado	Mestrado	Doutorado	Total	Doutores
1987	26	15	725	193	135	22	467	345
1988	26	15	849	195	111	17	477	364
1989	26	16	858	247	137	26	538	399
1990	27	16	836	244	170	20	561	423
1991	28	17	783	297	179	65	529	420
1992	31	20	858	341	184	30	563	478
1993	31	20	953	427	179	38	546	475
1994	31	22	862	457	176	46	539	486
1995	32	23	890	513	224	69	552	514
1996	34	23	912	621	236	60	588	547
1997	37	24	970	630	254	85	536 <sup>1</sup>	525 <sup>1</sup>
1998	36	25	929	673	283	90	543	530
1999	39	27	900	717	328	107	577	569
2000	43	31	931	768	312	133	618	610

Fonte: CAPES; <sup>1</sup> Dados estimados

Em função dos condicionantes históricos da área, a subárea de Geologia foi a que mais se expandiu. A Geofísica e as Ciências Atmosféricas tiveram expansão moderada e a Geografia Física aparentemente não cresceu no período. A Oceanografia, por ser muito jovem no País, enfrentou dificuldades para expandir-se. Teve porém reconhecida sua relevância e foi escolhida como uma das áreas prioritárias para formação de doutores no exterior. O retorno dos mesmos ao Brasil deverá possibilitar a expansão e o crescimento da subárea na próxima década.

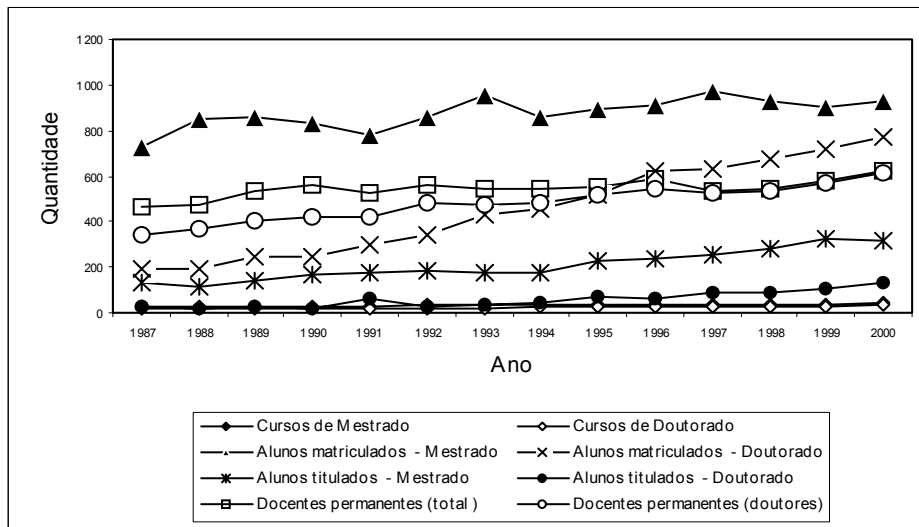


Figura 1. Dados da pós-graduação em Ciências da Terra

Uma avaliação da dinâmica da área no País também pode ser feita a partir dos indicadores fornecidos pelo CNPq, em particular do seu Diretório 4.0 dos Grupos de Pesquisa. Dados comparativos entre as áreas de Matemática, Física, Química, Geociências (incluindo Geologia, Geografia Física, Geofísica, Meteorologia e Geodésia) e Oceanografia (Tabela 2) revelam que as Geociências englobam em torno de 20% dos grupos de pesquisa, linhas de pesquisa e doutores da grande área de Ciências Exatas e da Terra. Considerando apenas o banco de dados do CNPq, haveria um mínimo de 750 doutores atuantes em Ciências da Terra no País (714 doutores atuando em Geociências, mais o número de pesquisadores atuantes em Oceanografia, Geológica e Física, estimados em pelo menos 25% do total daquela subárea). Este número é um pouco superior ao de docentes atuando na pós-graduação em cursos da área (cerca de 600; Tabela 1). Em termos quantitativos, a participação das Geociências se situa um pouco abaixo daquelas das áreas de Física e Química e acima da de Matemática. Quanto aos pesquisadores com bolsas de produtividade, a participação cai para cerca de 17% do total da grande área, correspondendo a um universo de 250 bolsistas, que guarda relações similares às discutidas anteriormente com Química e Matemática, porém é acentuadamente inferior ao da área de Física (Tabela 2). As Geociências, assim como Matemática e Química, apresentam relação bolsistas de produtividade/doutores um pouco inferior à média da grande área, ao passo que nas áreas de Física e Oceanografia observa-se o inverso (Tabela 2). Um aspecto preocupante para a área de Ciências da Terra é a extrema concentração de massa crítica verificada nas subáreas de Geofísica, Meteorologia e Geodésia. Apenas duas instituições, Inpe e USP, concentram em torno de 60% dos bolsistas de produtividade.

**Tabela 2**

Dados estatísticos extraídos do diretório de grupos de pesquisa (versão 4.0) e bolsas concedidas pelo CNPq na grande área de Ciências Exatas e da Terra

	Grupos de pesquisa	Linhas de pesquisa	Número de doutores (ND)	Bolsas de produtiv. (NB)	100x NB/ND	Bolsas DCR (Brasil) 1999	Bolsas DOUT (Brasil) 1999	Bolsas MESTR (Brasil) 1999	Bolsas RECÉM DOUTOR (Brasil) 1999	Bolsas DOUT (Exterior) 1999	Bolsas DOUT Sanduíche (Exterior) 1999	Bolsas PÓS-DOUT (Exterior) 1999
Física <sup>1</sup>	486 (27,5%)	2009 (28,9%)	1377 (36,3%)	622 (41,8%)	45,2	8,4 (23,6%)	345,1 (31,9%)	190,1 (23,7%)	10,1 (29,1%)	18,0 (11,0%)	12,0 (43,2%)	34,4 (43,3%)
Química	598 (33,7%)	2183 (31,4%)	964 (25,4%)	326 (22,0%)	33,8	8,8 (24,7%)	423,7 (39,2%)	239,0 (29,8%)	9,9 (28,5%)	8,8 (5,4%)	2,4 (8,6%)	17,2 (21,7%)
Geociências <sup>2</sup>	369 (20,8%)	1422 (20,5%)	714 (18,8%)	2514 (16,9%)	35,2	9,0 (25,4%)	171,4 (15,9%)	201,0 (25,1%)	4,1 (11,8%)	23,6 (14,5%)	5,4 (19,4%)	12,0 (15,1%)
Oceanografia	92 (5,2%)	370 (5,4%)	165 (4,4%)	83 (5,6%)	50,3	7,7 (21,6%)	26,8 (2,5%)	34,9 (4,4%)	6,4 (18,4%)	85,2 (52,2%)	5,6 (20,1%)	1,6 (2,0%)
Matemática <sup>3</sup>	227 (12,8%)	960 (13,8%)	571 (15,1%)	203 (13,7%)	35,6	1,7 (4,7%)	113,9 (10,5%)	135,9 (17,0%)	4,2 (12,2%)	27,6 (16,9%)	2,4 (8,6%)	14,2 (17,9%)
Ciências Exatas e da Terra	1772 (100%)	6944 (100%)	3791 (100%)	1485 (100%)	39,2	35,6 (100%)	1080,9 (100%)	800,9 (100%)	34,7 (100%)	163,2 (100%)	27,8 (100%)	79,4 (100%)

<sup>1</sup> Inclui Astronomia.

<sup>2</sup> Inclui Geologia, Geografia Física, Geofísica, Meteorologia e Geodésia.

<sup>3</sup> Inclui Probabilidade e Estatística.

<sup>4</sup> Geologia e Geografia Física=157  
Geofísica, Meteorologia e Geodésia=94

Segundo dados de 1999, em termos do CNPq, as bolsas de desenvolvimento científico regional são igualmente distribuídas entre as várias áreas, ao passo que as de recém-doutor têm tido menor absorção na área de Geociências (Tabela 2). As Geociências receberam 16% das bolsas de doutorado e 25% das de mestrado. As bolsas concedidas às áreas de Física e Química atingem percentagens maiores no doutorado do que no mestrado, ocorrendo o inverso com Geociências, Oceanografia e Matemática. Isto revela que as três últimas áreas ainda dependem mais esforço na formação de mestres do que na de doutores. As Geociências absorvem 15% das bolsas de doutorado no exterior e 19% das bolsas de doutorado sanduíche. É digno de nota o fato de a Oceanografia receber, respectivamente, 52% e 20% destas mesmas bolsas, o que torna evidente o empenho para a formação de recursos humanos no exterior nesta área.

Resumindo, pode-se estimar que a área de Ciências da Terra desenvolve em torno de 20% do esforço de formação de recursos humanos e capta uma proporção similar dos recursos financeiros disponibilizados pelo CNPq para a grande área de Ciências Exatas e da Terra.

A avaliação da produção científica da área foi feita com base nos dados fornecidos pelo *Institute for Scientific Information* (ISI) e se baseia exclusivamente nos artigos plenos indexados, cobrindo o período de 1981 a 2000. Isto implica dizer que não foram considerados os artigos científicos publicados em periódicos de circulação nacional, pois os mesmos, com raras exceções, não são indexados pelo ISI, nem tampouco a expressiva e densa produção científica da Petrobras divulgada em publicações da própria empresa.

A produção científica da área mostra crescimento contínuo nos últimos 20 anos, alternando saltos expressivos com períodos (81-82, 83-89, 90-94, 95-97 e 98-00) em que se mantém em um mesmo patamar (Tabela 3; Figura 2). De um a outro destes períodos há um aumento em pelo menos 40% da produção científica, que é ligeiramente superior ao crescimento médio da produção científica brasileira nos mesmos períodos. Comparadas com as áreas de Física e Química, as Ciências da Terra e a Matemática (Tabela 3; Figura 2) apresentam um quadro muito contrastante. As duas últimas iniciam a década de 80 com uma produção científica muito inferior às das áreas mencionadas e muito similares entre si. Por outro lado, a produção científica das Ciências da Terra cresceu até o ano 2000 em taxas anuais inferiores às da média nacional e àquelas apresentadas pelas áreas de Física e Química e superiores às da Matemática. Em consequência, atualmente a produção das Ciências da Terra é quantitativamente bem inferior às das áreas de Física e Química e superior à da Matemática (Tabela 3; Figura 2). As contribuições específicas das subáreas de Geociências e Oceanografia (equivalentes a *Earth Sciences* e *Aquatic Sciences* segundo a nomenclatura adotada pelo ISI para as subdivisões da área de *Earth Sciences*) revelam que quantitativamente a da primeira é mais importante, porém a da Oceanografia também é expressiva (Tabela 3; Figura 3).

**Tabela 3**  
Artigos plenos publicados

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Química	131	119	126	117	138	156	160	169	193	207	271	339	430	413	469	589	727	729	872	906
Física	291	276	292	318	350	351	352	380	486	505	612	729	722	771	924	1163	1298	1510	1469	1423
Matemática	50	55	49	55	61	78	71	77	83	83	97	98	108	109	126	127	146	165	164	172
Ciências da Terra	46	43	57	60	63	74	43	82	63	119	102	152	100	112	195	180	209	263	276	273
Oceanografia	11	8	17	33	22	30	17	30	18	33	42	40	35	42	57	70	83	90	121	100
Geociências	35	35	40	27	41	44	26	52	45	86	60	92	65	70	138	110	126	173	155	173

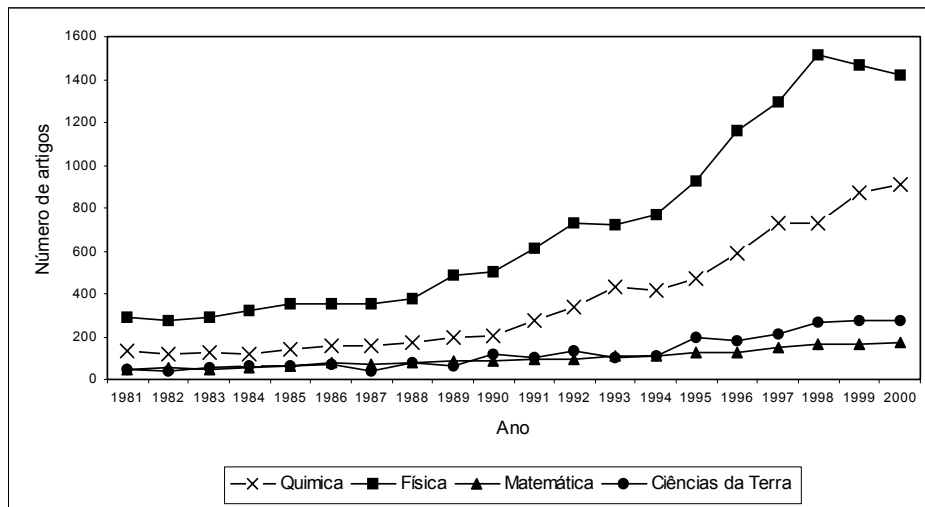


Figura 2. Artigos plenos publicados. Comparação das Ciências da Terra com a Física, a Química e a Matemática

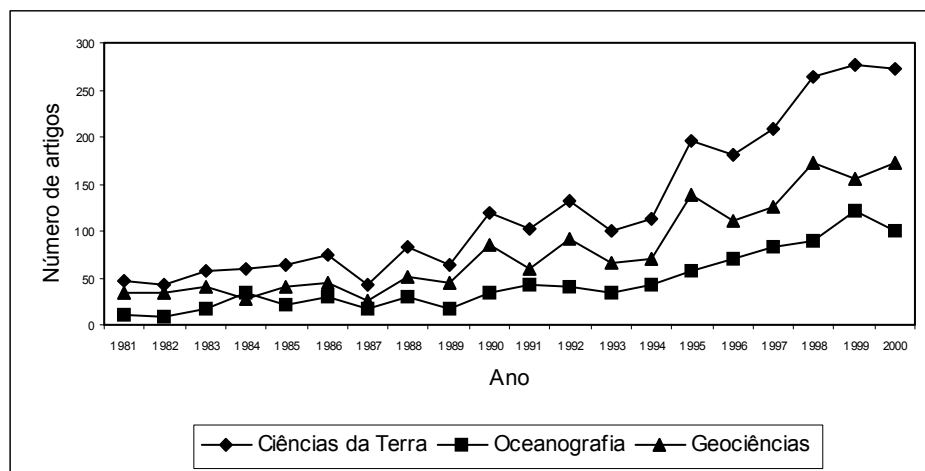


Figura 3. Artigos plenos publicados - Ciências da Terra, Oceanografia e Geociências

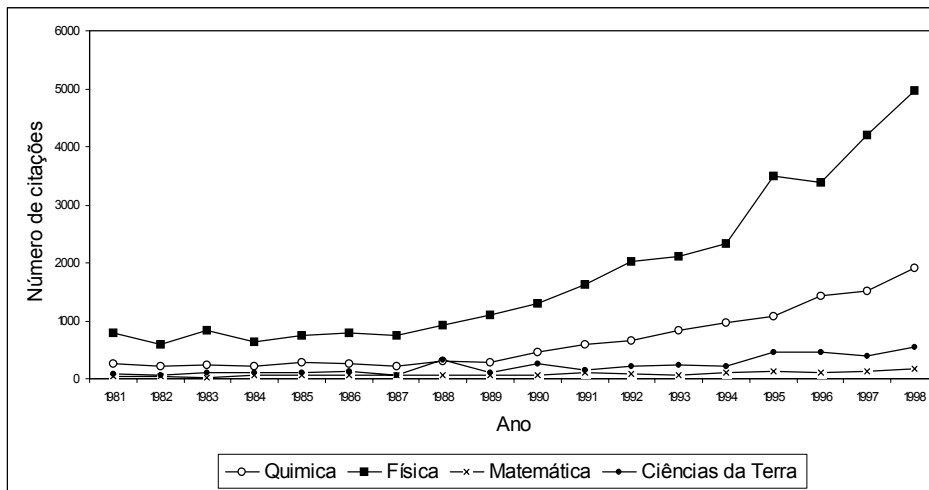
O quadro de citações dos artigos plenos evoluiu no período de maneira análoga (Tabela 4; Figura 4). Já a evolução do impacto dos artigos plenos, medido pela relação entre as citações durante um período de três anos e o número destes mesmos artigos, mostra um quadro bem distinto (Tabela 5; Figura 5). O índice de impacto da área mantém-se acima ou muito próximo da média nacional ao longo do período, o que lhe confere posição de destaque. Cabe registrar que, em termos de subáreas, o impacto das publicações em Geociências é similar àquele das áreas de Física e Química e bem maior que o da Oceanografia (Figura 5). Os indicadores de impacto demonstram que os artigos publicados pela área de Ciências da Terra alcançam boa reper-



cussão no meio científico, o que revela a maturidade e a penetração internacional do segmento mais ativo da área.

**Tabela 4**  
Citações de artigos plenos

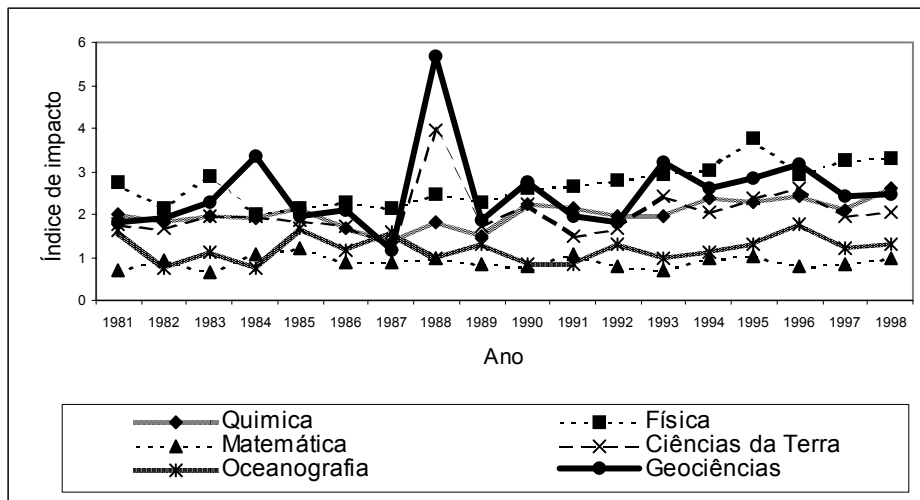
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Química	291	257	282	261	357	290	251	359	338	546	666	777	1028	1135	1295	745	1813	2226
Física	794	592	843	641	748	799	753	928	1107	1304	1618	2026	2109	2336	3490	1617	4203	4976
Matemática	34	50	32	60	74	68	64	74	68	65	106	78	75	106	127	53	121	165
Ciências da Terra	82	72	111	116	117	128	57	326	107	264	153	219	244	227	466	469	404	541
Oceanografia	18	6	19	25	37	35	27	30	23	28	36	52	35	46	73	62	102	116
Geociências	64	66	92	91	80	93	30	296	84	236	117	167	209	181	393	128	302	425



**Figura 4.** Citações de artigos plenos. Comparação das Ciências da Terra com a Física, a Química e a Matemática

**Tabela 5**  
Índice de impacto de artigos plenos

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Química	2,22	2,16	2,24	2,23	2,59	1,86	1,57	2,12	1,75	2,64	2,46	2,29	2,39	2,75	2,76	1,26	2,49	3,05
Física	2,73	2,14	2,89	2,02	2,14	2,28	2,14	2,44	2,28	2,58	2,64	2,78	2,92	3,03	3,78	1,39	3,24	3,30
Matemática	0,68	0,91	0,65	1,09	1,21	0,87	0,90	0,96	0,82	0,78	1,09	0,80	0,69	0,97	1,01	0,42	0,83	1,00
Ciências da Terra	1,78	1,67	1,95	1,93	1,86	1,73	1,33	3,98	1,70	2,22	1,50	1,66	2,44	2,03	2,39	2,61	1,93	2,06
Oceanografia	1,64	0,75	1,12	0,76	1,68	1,17	1,59	1,00	1,28	0,85	0,86	1,30	1,00	1,10	1,28	0,89	1,23	1,29
Geociências	1,83	1,89	2,30	3,37	1,95	2,11	1,15	5,69	1,87	2,74	1,95	1,82	3,22	2,59	2,85	1,16	2,40	2,46



**Figura 5.** Índice de impacto de artigos plenos. Comparação das Ciências da Terra com a Física, a Química e a Matemática

Pode-se especular porque o crescimento das Ciências da Terra tem sido menos acentuado do que os das áreas de Física e Química. A razão fundamental parece ser a consolidação comparativamente mais tardia da área, revelada pelos indicadores de produção científica e da pós-graduação no início dos anos 80 e justificada pelo histórico e peculiaridades da área. Não há, porém, razões para subestimar o potencial da área que parece situar-se em etapa de grande fertilidade e francas perspectivas de crescimento, caso sejam expandidos os níveis atuais de financiamento à pesquisa e oferecidas reais oportunidades aos jovens pesquisadores. Esta visão otimista é corroborada pelo índice de especialização da área de Ciências da Terra e do Espaço da América do Sul. Tal índice é de 1,33 (calculado com base em dados de Barré & Papon, 2000), indicando tratar-se de área cientificamente forte em nosso continente. Como o Brasil ocupa uma posição de destaque na produção científica do continente e as pesquisas em Ciências do Espaço são pouco expressivas no mesmo, este índice deve funcionar também como indicador para as Ciências da Terra do Brasil.

Os patamares de crescimento sugeridos por diversos indicadores da área, poderiam ser tentativamente relacionados a alguns fatos marcantes: 1) 1983-89 – início da produção científica por parte de um número expressivo de doutores que retornam do exterior e são fixados em programas de pós-graduação; 2) 1990-94 – entrada em rotina dos laboratórios instalados com recursos do PADCT I e divulgação dos resultados dos projetos financiados pelo mesmo; 3) 1995-97 – colocação em rotina de novos laboratórios financiados pelo PADCT II e resultados dos projetos associados ao mesmo; e, 4)

1998-00 – maturação da área e crescimento sem condicionantes externos marcantes. Aos fatos mencionados somam-se contínuos e decisivos investimentos na formação de recursos humanos através da pós-graduação e esforços para fixação de doutores com medidas alternativas (bolsas de recém-doutor, professor visitante etc).

#### ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL DA ÁREA

Além dos papéis classicamente reservados aos pesquisadores, cabe aos profissionais de Ciências da Terra uma tarefa adicional que é fundamental e que consome grande parte de sua energia. Eles são responsáveis pela caracterização e monitoramento do meio físico do País. Contrariamente aos países europeus e diversos países de grande superfície, como Canadá, Estados Unidos, Austrália e África do Sul, o Brasil ainda apresenta carência enorme de levantamentos básicos em seu território. Os mapas geológicos disponíveis, em particular no caso da região Amazônica (Adimb, 2000), não apresentam geralmente escalas compatíveis com o nível de informação necessário para uma série de atividades econômicas, entre elas a exploração mineral e o planejamento do uso do espaço físico. Os levantamentos aerogeofísicos, fundamentais no apoio ao mapeamento geológico, para o conhecimento da estrutura litosférica e como guias na prospecção de depósitos minerais, são, excetuando as bacias sedimentares, estudadas pela Petrobras, ainda incompletos e muitas vezes inadequados para algumas destas utilizações. Desenvolve-se no momento, através do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), um esforço concentrado para a obtenção de dados aerogeofísicos sobre grandes áreas da Amazônia, como forma de estimular a exploração mineral. Tais investimentos, indispensáveis para ampliar o conhecimento da Geologia do País e garantir o crescimento do setor mineral, envolverão um número expressivo de profissionais de Geologia e Geofísica. As técnicas de sensoriamento remoto, disseminadas no País através do Inpe, têm sido de grande utilidade em diferentes domínios de conhecimento. Necessitam, entretanto, de constante atualização tanto em nível de obtenção, quanto no de disseminação de imagens e técnicas para seu tratamento e interpretação. A este respeito, cabe mencionar que, apesar do empenho do País, em colaboração com a China, para colocar um satélite de monitoramento ambiental em órbita, a maioria das aplicações de geoprocessamento estão baseadas em satélites de outros países, o que, em certos domínios do conhecimento, impõe limitações às pesquisas desenvolvidas no Hemisfério Sul. Há uma rede expressiva de laboratórios de sensoriamento remoto no País e muitos cursos de pós-graduação atuam nesta subárea, sendo indispensável, porém, garantir-lhes condições de atualização e funcionamento.

Outro aspecto importante é que as subáreas de Meteorologia, Geofísica e Oceanografia necessitam monitorar constantemente uma série de variáveis físicas, cujo controle é indispensável para o acompanhamento da evolução do meio físico. Tais atividades, geralmente incapazes de render publicações de impacto, são, no entanto, fundamentais como referência para uma série de atividades no País, como por exemplo previsões meteorológicas, e servem de base para o desenvolvimento de diversas pesquisas, cabendo apoiá-las e assegurar a sua continuidade ao longo do tempo, através de permanente atualização tecnológica. O distanciamento de áreas operacionais e de pesquisa em Meteorologia no País tem levado à duplicação de esforços e desperdícios de recursos e isto deve ser evitado. O País também é carente de estudos sistemáticos de propriedades físicas de rochas que possam servir como referência para a interpretação dos dados obtidos em levantamentos aerogeofísicos. A elaboração de bancos de dados multiusuários, já implementada no caso da Oceanografia (Fernandes, 1998), é igualmente necessária para a Geofísica (Adimb, 2000).

O recente crescimento laboratorial observado na área resultou em um claro salto qualitativo que se refletiu nos indicadores de produção científica discutidos anteriormente. Como exemplos ilustrativos, podemos citar a ampliação ou instalação de laboratórios de Geocronologia e Geologia Isotópica, cuja disseminação no País permitiu um crescimento excepcional não só destas especialidades, mas também da Estratigrafia pré-cambriana, Petrologia e Metalogênese, levando a avanço notável nos modelos de evolução crustal, de importância crucial para compreender os controles geológicos de depósitos minerais. A instalação de diversas microssondas eletrônicas e microscópios eletrônicos de varredura permitiu o ressurgimento da Mineralogia no País, beneficiando igualmente as especialidades de Petrologia ígnea e sedimentar, Paleontologia, Metalogênese e Geocronologia. Também houve um crescimento nos laboratórios de análises químicas, sem contudo eliminar a dependência da área dos laboratórios de prestação de serviços.

Ao avaliar a produção científica da área algumas características inerentes à mesma devem ser ressaltadas. As Ciências da Terra, em particular as subáreas de Geologia e Geografia Física, iniciaram a sua recente história no País tendo a responsabilidade primeira de caracterizar a Geologia e a Geomorfologia do País e este desafio permanece até os dias atuais. Ambas tinham forte acento regional, em função da própria extensão continental do País. O intercâmbio restrito com pesquisadores do exterior e internamente fez com se privilegiassem durante muito tempo os artigos sobre temas regionais, divulgados em publicações de eventos científicos ou patrocinadas por empresas ou instituições estatais, com pouco interesse para um público internacional, exceto no setor petrolífero. Com o retorno ao País dos doutores formados no exterior, é introduzida lenta e gradualmente uma nova perspectiva,

acompanhando a maturação da área. Crescem inicialmente as publicações em periódicos científicos nacionais com corpo de revisores e são criadas diversas publicações regionais que gradualmente substituem o papel anterior dos anais de congressos e traduzem um nível mais elevado em termos científicos. Porém, a afirmação da área em nível internacional só pôde ser iniciada, no início da década de 90, quando os novos laboratórios passaram a gerar dados mais numerosos e de qualidade compatível com os padrões exigidos pelas publicações internacionais. Até então, os pesquisadores brasileiros eram quase sempre obrigados a gerar seus dados analíticos em laboratórios do exterior e isto limitava sobremaneira as oportunidades. A partir daí constata-se uma clara expansão da produção científica da área em qualidade e quantidade. Mais recentemente, com a consolidação do sistema de pós-graduação, doutorandos passam em muitos casos a incluir artigos submetidos a periódicos internacionais em suas teses e asseguram, assim, a divulgação dos resultados obtidos e o treinamento para a elaboração de novos artigos. A subárea de Geofísica, embora também não apresente um número muito elevado de publicações, diferencia-se das demais por iniciar mais cedo a divulgação em periódicos internacionais de impacto. A subárea de Geologia de Petróleo, em função do monopólio estatal, gerou publicações específicas no âmbito da Petrobras que, apesar de sua qualidade reconhecida e da divulgação internacional, não se refletem nos indicadores da área, por não serem indexadas.

Obviamente ainda há um espaço enorme para o crescimento da produção científica da área e os índices ainda não são os ideais. Porém, os resultados obtidos em um período de apenas 20 anos não devem tampouco ser minimizados, sobretudo se levarmos em conta as descontinuidades de financiamento à pesquisa, os baixos níveis salariais e as pesadíssimas restrições a novas contratações. Havendo a criação de oportunidades de trabalho para jovens doutores e mantendo-se o financiamento à pesquisa em condições adequadas e estáveis, pode-se esperar um crescimento mais acelerado nos próximos anos. É indispensável, também, o estímulo aos pesquisadores da área através da ampliação do número de bolsas de produtividade em pesquisa, que permanece estagnado desde 1988, e da melhoria das condições de salário ou da criação de novos mecanismos de remuneração diferenciada em função da contribuição individual.

O conhecimento gerado pelas Ciências da Terra deveria contribuir, de modo muito expressivo por meio da sua disseminação em diferentes níveis da formação escolar, para aprimorar o saber científico e a educação de nossa população na busca da Sociedade do Conhecimento (Livro Verde). A quase total ausência de estímulos nesta direção tem dissociado inteiramente o setor educacional de primeiro e segundo graus dos pesquisadores da área (Campos, 1997). A ausência de uma licenciatura em Ciências da Terra que permita disseminar o conhecimento de modo eficaz, gradual e consistente, desde

os níveis iniciais da escolarização até o segundo grau, constitui uma das maiores lacunas da área. Ela faz com que as Ciências da Terra sejam excluídas da percepção do cidadão comum, a não ser em casos de acidentes naturais, como terremotos e erupções vulcânicas, felizmente raros ou ausentes em nosso País, e nas previsões meteorológicas. A falta de uma memória do setor e de condições de organização adequada de coleções paleontológicas, petrográficas e mineralógicas, bem como de sua divulgação através de meios modernos, representa uma deficiência enorme. São perdidos também milhares de metros de testemunhos de sondagem de áreas exploradas por empresas de mineração, por não se dispor de uma infra-estrutura adequada de estocagem. A CPRM iniciou um trabalho muito frutífero de disseminação da informação técnica entre as prefeituras através do seu programa Primaz, que vinha alcançando grande receptividade nas comunidades interioranas. Infelizmente o mesmo foi interrompido ou perdeu seu fôlego. Tal experiência necessita ser reavaliada. Em síntese, existe um espaço imenso a ser ocupado no que tange à educação em Ciências da Terra e esta deve ser uma das prioridades para a área.

Tal como as demais áreas do conhecimento, as Ciências da Terra enfrentam os desafios da crescente necessidade de atuar em conjunto, privilegiando a cooperação interinstitucional e a interdisciplinaridade. A área avança timidamente nesta direção. Um exemplo positivo é dado pela subárea de Oceanografia, que através da Cirm (Comissão Interministerial para os Recursos do Mar), desenvolveu mecanismos muito promissores de interação em diferentes níveis. A questão ambiental é certamente um dos exemplos mais claros onde a interdisciplinaridade se impõe como requisito indispensável para o avanço científico. A relevância da contribuição da área neste domínio vai depender, em grande parte, da sua capacidade de interação com as demais e da sua adaptação a uma nova dinâmica de trabalho e geração do conhecimento. No momento, estão sendo dados apenas os primeiros passos nesta direção. Outro exemplo, é a necessidade das áreas básicas de Geologia buscarem desenvolver projetos integrados com os setores de lavra, tecnologia, metalurgia e economia mineral, de modo a viabilizar a valorização dos recursos minerais do País, através de aporte tecnológico e verticalização do setor (Marini, 2001). Há uma dissociação muito grande entre a pesquisa básica em Geologia e os responsáveis pelo aproveitamento tecnológico dos recursos minerais e isto tem que ser superado. As especialidades de Mineralogia Aplicada e Petrologia têm muito a contribuir neste domínio.

#### COMPARAÇÃO COM A SITUAÇÃO DA ÁREA NO MUNDO

Uma das deficiências marcantes nas Ciências da Terra no País, quando comparadas com aquelas de Europa Ocidental, América do Norte e Oceania,

prende-se ao fato de que estes continentes dispõem, de modo geral, de levantamentos sistemáticos e bases de dados confiáveis que subsidiam as pesquisas de vanguarda nas diferentes subáreas. Esta é ainda uma das carências fundamentais no País, particularmente na região Amazônica e nos Grandes Sertões, mas, em certa medida, também na margem continental. Isto representa obviamente uma limitação, porém gera ao mesmo tempo oportunidades para o desenvolvimento de estudos de interesse não só nacional, mas internacional. Cabe à nossa comunidade científica preencher as grandes lacunas existentes e transformar o conjunto de dados em informação científica, qualificando-a e divulgando-a em diferentes níveis. Por outro lado, isto impõe à comunidade da área um esforço dobrado, por necessitar simultaneamente adquirir informações básicas e dar a elas tratamento científico moderno e inovador, de modo a alcançar os padrões internacionais de pesquisa.

Os recursos humanos disponíveis na área são, proporcionalmente à população, muito inferiores aos atuantes nos continentes mencionados e também na Europa do Leste e China. Logo, há grande necessidade de expansão de sua massa crítica. Em termos de qualidade, o aporte expressivo de doutores formados nas melhores universidades do exterior nas duas últimas décadas, oxigenou as instituições e reduziu em muito os efeitos da endogenia, salvo algumas exceções, justamente nas mais tradicionais universidades do País. Por dispor de um laboratório natural imenso e extremamente variado em termos de ambientes, o País reúne condições muito favoráveis para a formação de pesquisadores na área. Isto, juntamente com a acentuada melhoria nos padrões do ensino de pós-graduação e o esforço de capacitação feito por algumas empresas estatais, em particular a Petrobras, faz com que os profissionais pós-graduados atualmente na área apresentem padrões compatíveis, em linhas gerais, com aqueles de países desenvolvidos. Os graduandos encontram-se capacitados para enfrentar os desafios do mercado do trabalho e adaptados às condições do País, sendo treinados adequadamente para trabalhar no meio físico. Porém, deve-se alertar que as deficiências crônicas de nossas escolas públicas e a demanda pouco elevada nos exames vestibulares pelos cursos da área fazem com que o nível médio dos alunos de graduação da área situe-se abaixo do desejável. Outro problema diz respeito ao fato do ensino ainda ser ministrado em moldes clássicos na quase totalidade dos cursos da área, privilegiando mais a especialização do que uma visão integrada do conhecimento.

A área deu um salto expressivo em termos de equipamentos e laboratórios nos últimos 15 anos, aproximando-se, ainda que sem alcançá-las, das condições disponíveis nos países desenvolvidos. Como não tem havido grandes revoluções tecnológicas neste domínio na área, dispõe-se hoje de razoável competitividade em diversas subáreas, embora permaneçam distâncias

muito grandes em outras. Por outro lado, o acelerado avanço tecnológico impõe contínua atualização, renovação e ampliação dos laboratórios de pesquisa, sob pena de, num prazo de dez anos, perder-se senão todo, boa parte do avanço obtido.

Em termos de produtividade científica, a área apresenta um índice de especialização no continente superior a unidade, o que só é apresentado por Oceania, América do Norte e África Sub-sahariana (Barré & Papon, 2000). O índice da América do Norte é superior ao dos Estados Unidos, sendo certamente influenciado positivamente pelo Canadá e, em parte, pelo peso das Ciências Espaciais, consideradas pelos autores citados conjuntamente com as Ciências da Terra. Tal índice é inferior à unidade na União Européia e de apenas 0,70 e 0,44, respectivamente, na China e no Japão. Isto sugere um papel destacado para a pesquisa em Ciências da Terra na América Latina e, no geral, em continentes onde se dá a expansão do conhecimento em domínios territoriais antes inexplorados.

Provavelmente a maior deficiência atual da área em relação aos países desenvolvidos seja o seu baixo envolvimento na Educação pré-universitária e na disseminação do conhecimento gerado (Campos, 1997). Num momento em que este aspecto constitui uma preocupação central nos países desenvolvidos, estamos em nosso País ainda muito longe do mínimo desejável na busca de uma Sociedade do Conhecimento, destacada no Livro Verde como uma de nossas metas essenciais.

Outra limitação da área de Ciências da Terra no Brasil, prende-se ao fato que a mesma desenvolve a maior parte de suas pesquisas de forma disciplinar, segmentada, com poucas interações. A interdisciplinaridade, inerente à área das Ciências da Terra, tem sido exigida de forma mais explícita e mais abrangente a partir do enfoque do meio ambiente. Internacionalmente as agências de fomento têm privilegiado iniciativas interdisciplinares e são muitas as universidades e órgãos de pesquisa que possuem centros de Ciências da Terra congregando pessoal com diferentes formações acadêmicas em volta de temas comuns. No entanto, no Brasil ainda são poucos os cursos e as pesquisas que têm esse escopo.

## **IMPACTO SÓCIO-ECONÔMICO**

### *A IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DO CONHECIMENTO DO MEIO FÍSICO*

Os desafios estratégicos, identificados no Livro Verde (cap. 5), para o sistema de CT&I do País para a próxima década são divididos em dois grandes grupos. O primeiro grupo refere-se ao conhecimento e gestão do



patrimônio nacional e entre os sete itens nele mencionados, seis dizem respeito diretamente a áreas de atuação das Ciências da Terra: Levantamento do Território, Meteorologia e Climatologia, Gestão do Meio Ambiente, Recursos do Mar, Recursos Hídricos e Recursos Minerais. Entre as linhas de ação sugeridas para os desafios estratégicos (Livro Verde, p. 167) destaca-se: “..mapear e conhecer a realidade nacional, ....., pois sem informações amplas e confiáveis sobre as reais condições do País, que subsidiem a tomada de decisões por parte da sociedade, corre-se o risco de improvisações tão nocivas quanto os problemas que se pretendem resolver.” O reconhecimento pelo sistema de C&T da importância das informações básicas geradas pelos profissionais da área é muito oportuno porque certamente trará impacto positivo para o desenvolvimento da área. O trabalho discreto e minucioso de monitoramento, elaboração de mapas e estruturação de bancos de dados e litotecas deve ser mais valorizado. Na ausência de informações consistentes, o planejamento do uso e ocupação do espaço físico torna-se extremamente especulativo ou mesmo inócuo, implicando muitas vezes elevado custo econômico e social para o País. Os ecossistemas dependem de variáveis que envolvem o meio físico e o seu conhecimento é, portanto, fundamental nas avaliações da sustentabilidade destes mesmos ecossistemas, à luz dos modernos paradigmas ambientais.

Um dos exemplos mais expressivos que se dispõe da importância sócio-econômica para o País de estudos na área é o resultado dos trabalhos desenvolvidos nos últimos 20 anos na plataforma continental brasileira, sob a coordenação da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Cirm) e da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Atendendo às recomendações da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), a Cirm, reunindo, entre outros, representantes dos ministérios da Marinha e Minas e Energia, Petrobras, instituições de pesquisa em Oceanografia e Serviço Geológico do Brasil (CPRM), e a DHN promoveram, desde a década de 70, vários projetos e programas: Reconhecimento da Margem Continental Brasileira (Remac), Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Programa de Levantamento da Plataforma Continental (Leplac) e Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE). Os três primeiros programas, além de conduzirem a notável avanço no conhecimento geológico e oceanográfico, permitiram a delimitação precisa da plataforma brasileira que se estende por uma área submersa de 3.500.000 km<sup>2</sup>, equivalente portanto a quase metade do território emerso do País. Com isto, atendidas as exigências da CNUDM, o Brasil passou a exercer direitos de soberania para exploração e aproveitamento de recursos naturais, tanto do leito marinho, quanto do subsolo desta vasta área. Ficou assim legalmente assegurado para o País, entre outras coi-

sas, a exploração dos vastos recursos de petróleo e gás acumulados em bacias da plataforma continental.

#### METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

Em tempos recentes, o interesse pelos serviços e produtos da Meteorologia aumentou enormemente por conta da maior sensibilidade da sociedade aos fenômenos atmosféricos. O crescimento acelerado da população em grandes metrópoles, que se expandiram em geral sem planejamento, trouxe para o cotidiano a poluição, os deslizamentos de encostas e as enchentes urbanas. Há também maior divulgação do aumento do grau de incerteza quanto ao futuro em razão das variações e mudanças climáticas que têm afetado o planeta, em particular aquelas devidas a causas antropogênicas. Em função dessa incerteza, sociedade e governos têm o maior interesse em ampliar as pesquisas científicas nesse campo.

Por outro lado, cresceu também a conscientização do setor produtivo e do governo quanto ao valor econômico e estratégico das informações hidrometeorológicas. Na Agricultura, operações de irrigação baseadas em previsões de tempo podem levar à grande economia de água e as operações de colheita e aplicação de defensivos agrícolas podem ser otimizadas. Setores de serviços, como distribuição de alimentos e transportes aéreos, utilizam rotineiramente a informação meteorológica para otimização de suas atividades. Na área de Energia, o planejamento do setor hidroelétrico depende do monitoramento do tempo e de projeções climáticas. Na área da Oceanografia, além da análise das condições oceânicas favoráveis à pesca, também se desenvolveram muito as aplicações em saneamento (construção e operação de emissários submarinos) e na previsão de marés e estado do mar para operação dos portos. O estudo de fenômenos atmosféricos de grande escala, como o *El Niño* e *La Niña*, tem demonstrado a sua relevância para prever períodos excepcionais de secas ou inundações, auxiliando no planejamento a ser adotado para minimizar as suas conseqüências.

#### RECURSOS MINERAIS E SEU APROVEITAMENTO INDUSTRIAL

Apesar do seu grande território, o Brasil só começou a investir na exploração mineral de modo mais intenso e planejado nos últimos 40 anos. Neste curto espaço de tempo, o País conseguiu importantes avanços que tiveram reflexos diretos em sua economia, tanto gerando ou poupando divisas, quanto ampliando o número de empregos e promovendo o crescimento do setor de CT&I. O exemplo mais óbvio é fornecido pelo setor de petróleo e gás, onde a atuação lúcida da Petrobras propiciou grandes avanços na pro-

dução, obtidos simultaneamente com investimentos em formação de recursos humanos e desenvolvimento de tecnologia inovadora, o que permitiu a exploração de petróleo em ambientes adversos da plataforma continental e lhe valeu reconhecimento internacional.

Como consequência dos investimentos em levantamentos geológico-geofísicos e exploração mineral a partir da década de 70, a mineração cresceu muito no País e houve a abertura de uma série de novas minas, com destaque para a Província Mineral de Carajás no Pará, onde, além dos depósitos de ferro, manganês e ouro, há perspectivas de exploração, em breve, de depósitos de cobre, com ouro e outros metais associados, e níquel. O Brasil é, ainda, um grande produtor de bauxita, caulim, estanho, nióbio e gemas, sendo hoje o quinto maior produtor mineral do planeta.

Conforme Marini (2001), o valor total da produção mineral brasileira em 1999 foi de US\$ 15,5 bilhões, dos quais US\$ 8,0 bilhões correspondem a minérios e US\$ 7,5 bilhões a petróleo e gás natural. Grande parte da produção brasileira de minérios é exportada e as exportações, incluindo produtos de primeira transformação, foram de US\$ 6,3 bilhões em 1999, resultando, naquele ano, para o País um superávit no comércio de bens minerais da ordem de um bilhão de dólares/ano, que cobriu o déficit da conta petróleo no comércio exterior. Estima-se que, em 2000, os produtos derivados da indústria de transformação de bens minerais brasileiros representaram cerca de 8,3% do Produto Interno Bruto (PIB), o que demonstra a importância da indústria de mineração no País. Em 2000, a indústria extrativa mineral cresceu 11,48% e o crescimento médio anual da mineração, nos últimos cinco anos, atingiu 8,2% (Marini, 2001).

Um setor econômico menos visível da mineração diz respeito aos minerais não-metálicos, que incluem as rochas carbonáticas, areia, brita, seixo, cascalho, argilas, pedras ornamentais, de ampla gama de utilização e crescente peso no setor, por fornecer as matérias primas indispensáveis para a construção civil e grandes obras de engenharia. A importância econômica destes bens minerais é muito grande, chegando a representar em alguns estados a principal fonte de receita para o setor. Qualquer política habitacional para o País, que vise diminuir o déficit atual de moradias, tem que se apoiar na disponibilidade destas matérias primas em volumes e custos adequados, sob pena de inviabilizar-se. O setor também gera muitos empregos e, com frequência, sérios problemas ambientais, sobretudo em zonas urbanas, que necessitam ser equacionados e evitados.

#### RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos superficiais e subterrâneos adquiriram crescente relevância no cenário internacional e nacional nos últimos anos e neste iní-

cio de milênio despontam como uma das questões mais relevantes a serem enfrentadas nos próximos anos (Tucci, 2001). A recente criação da Agência Nacional de Águas (ANA) para coordenar o setor, atesta este fato. Entre as complexas questões relacionadas com recursos hídricos, podem ser destacadas pela sua grande importância sócio-econômica: poluição da água e sua escassez em grandes centros urbanos; geração de energia hidrelétrica a partir de grandes barragens e o impacto ambiental decorrente; qualidade da água e seu vínculo com saneamento, saúde pública e índice de desenvolvimento humano; disponibilidade da água em meio rural para abastecimento humano e animal e uso na agricultura. Além disso, os sistemas hídricos têm grande relevância para a navegação e recreação, e estão relacionados diretamente com eventos críticos de estiagem ou inundações.

#### RECURSOS DO MAR

Os oceanos, além dos seus recursos vivos, representam uma das últimas regiões do planeta cuja potencialidade como fonte de recursos minerais não foi ainda inteiramente avaliada. É conhecido, no entanto, que os mesmos possuem concentrações elevadas de muitos elementos ou substâncias, as quais, no futuro, dependendo do aumento da demanda e de avanços tecnológicos, poderiam vir a ser extraídas em condições econômicas (Fernandes, 1998, cap. IV). Os recursos de petróleo e gás contidos nas plataformas continentais são apenas um exemplo disto. O Brasil, graças à sua grande extensão litorânea e ao controle econômico de sua plataforma continental, poderá ter que se voltar no futuro para o Oceano Atlântico em busca de determinados recursos minerais. O Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Jurídica Brasileira (REMPLAC) foi criado em 1998 com o objetivo de aprofundar a avaliação dos recursos minerais de nossa Zona Econômica Exclusiva (ZEE).

#### **PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA E SUAS VULNERABILIDADES**

As Ciências da Terra dispõem hoje em nosso País de massa crítica considerável em diversas especialidades e de número significativo de laboratórios modernos funcionando em rotina. Dentre suas cinco subáreas, a de Geologia é a mais solidamente implantada e a melhor distribuída geograficamente no País, reunindo as condições essenciais para prosseguir em crescimento nos próximos dez anos. A subárea de Ciências Atmosféricas tem feito contribuições científicas expressivas e tem abordado questões de grande interesse internacional, mas precisa alcançar melhor distribuição no País, pois a maio-

ria de suas pesquisas está concentrada em apenas duas instituições. A subárea de Oceanografia Física e Geológica, acompanha o perfil da Oceanografia em geral, mostrando, graças à prioridade recebida das agências financiadoras, uma clara tendência de ampliação de sua massa crítica e perspectivas de plena consolidação nos próximos anos. A expansão da subárea deve, porém, ser acompanhada do fortalecimento de centros de pesquisa nas diferentes regiões do País. A Geofísica possui grande vinculação com a Matemática e a Física e exerce um papel importante por introduzir uma visão mais quantitativa dos processos geológicos e pela sua familiaridade com as técnicas computacionais e de modelamento. Apesar de sua modernidade, ela vive momento delicado, pois, ao mesmo tempo em que se prevê aumento acentuado na demanda por geofísicos no País, enfrenta dificuldades pela alta taxa de evasão em seus cursos de graduação e por não ter expandido significativamente a pós-graduação na última década. Por representar o elo mais consistente de ligação entre os diversos ramos das Ciências da Terra e as Ciências Humanas, a Geografia Física desempenha papel importante na área, mas também enfrenta dificuldades, necessitando talvez de reavaliação de seu espaço de atuação.

Um dos maiores desafios para as várias subáreas será manter a consistência na formação de pesquisadores em suas diferentes especialidades, digamos tradicionais, e expandir-se corajosamente e sem perder a qualidade em direção às novas subáreas de conhecimento, onde a interdisciplinaridade será a tônica dominante. Muito provavelmente da resposta obtida a este desafio dependerá a vitalidade da área no final da próxima década. O desafio se reveste de uma grande complexidade porque exige mudanças profundas na maneira de estruturar o ensino e a pesquisa, as quais já vem sendo discutidas em diferentes níveis (cf. Livro Verde). Uma das questões vislumbradas é que atualmente certos domínios interdisciplinares, como, por exemplo, aqueles direcionados às questões ambientais, aos recursos hídricos, ao sensoriamento remoto, ou aqueles que dispõem de maiores recursos, como é o caso dos programas de petróleo, exercem grande atração sobre os pós-graduandos. Tal tendência pode levar ao enfraquecimento ou mesmo esvaziamento de especialidades que continuam importantes para o arcabouço da área. Isto pode representar um perigo, porque é preciso atentar para dois aspectos: de um lado, o desenvolvimento de pesquisas interdisciplinares consistentes só será assegurado pela efetiva interação dentro de um mesmo programa de pesquisadores de diferentes especialidades e, de outro, a busca de uma visão holística dos diferentes processos que atuam no meio físico e afetam o homem e a natureza não será eficaz sem uma base científica sólida das diferentes disciplinas envolvidas.

As Ciências da Terra, ainda que lentamente, têm evoluído na direção da interdisciplinaridade e continuarão certamente a fazê-lo na próxima década-

da. A tendência atual é evidenciada por diversos programas: aqueles voltados para as mudanças globais, em que as subáreas de Ciências Atmosféricas e Oceanografia se destacam; os direcionados para a caracterização da plataforma continental e seus recursos, com participação das diversas especialidades da Oceanografia, além de Geofísica, Geologia e Ciências Atmosféricas; os programas de recursos hídricos, que integram cada vez mais especialistas em Hidrologia, Geofísica, Geologia, Engenharia Civil, Ciências Atmosféricas, Agronomia, ao invés de envolver profissionais isolados de cada uma destas subáreas, como era feito no passado (Tucci, 2001); na Geologia, num âmbito mais restrito, a interação entre pesquisadores em geologia isotópica, petrologia, mineralogia, metalogênese, geotectônica e geologia regional tem permitido avanços muito expressivos na compreensão da evolução crustal dos terrenos pré-cambrianos do País; nos estudos ambientais, a participação de geoquímicos, limnologistas, meteorologistas, especialistas em geologia de engenharia, geofísicos, geógrafos e hidrogeólogos, ao lado de biólogos e ecólogos, também tem ocorrido. Um dos exemplos de integração entre várias subáreas de conhecimento que resultou em importante contribuição na busca da Sociedade do Conhecimento é o Atlas Ambiental de Porto Alegre (Menegat *et al.*, 1998).

A conscientização de que a variabilidade climática depende não apenas da atmosfera mas da interação entre o sistema atmosfera/oceano/biosfera é um dos exemplos mais claros, onde o progresso científico depende fundamentalmente de pesquisas multidisciplinares. Compreender a dinâmica deste sistema é o grande desafio que já vem sendo enfrentado por pesquisadores de Meteorologia e Oceanografia no Brasil e que deverá prosseguir na próxima década. As pesquisas de Meteorologia voltadas para a agricultura representam outro exemplo. A participação de cientistas brasileiros em programas internacionais, tais como o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, organizado pela ONU, que busca prover informações atualizadas sobre as mudanças climáticas, seus impactos e a mitigação dos seus efeitos, deve ser mantida no futuro. Outro grande desafio de pesquisa na área de meio ambiente e clima está na construção de modelos numéricos integrados do ambiente físico, incluindo aspectos da composição e evolução físico-química da atmosfera e sua interação com a superfície terrestre. A contribuição do Brasil para as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) deve ser estimada com o maior rigor possível, para determinar ações visando reduzi-las. O entendimento dos processos físicos e químicos associados às trocas de energia, água e carbono entre as florestas tropicais e a atmosfera representa outro enorme desafio para a comunidade científica.

O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), uma iniciativa internacional de pesquisa liderada pelo Brasil, busca

gerar os conhecimentos necessários à compreensão do funcionamento climatológico, ecológico, biogeoquímico e hidrológico da Amazônia, do impacto das mudanças do uso da terra nesse funcionamento e das interações entre a Amazônia e o sistema biogeofísico global da Terra. Programas deste gênero serão fundamentais na próxima década. Também permanecerão como temas prioritários de pesquisa: estimativa do balanço da energia solar via sensoriamento remoto; estimativas diretas do fluxo de carbono em ecossistemas; contribuição das queimadas de plantações de cana-de-açúcar, cerrado e florestas para a produção dos gases de efeito estufa; impacto das queimadas em diferentes ecossistemas; aprimoramento das técnicas de monitoramento de queimadas por sensoriamento remoto; papel das queimadas na emissão dos gases precursores do ozônio; e, emissão de metano por bovinos.

Pesquisas em previsão meteorológica e clima tem se desenvolvido no Brasil, sendo importante a manutenção da qualidade das mesmas. Tais pesquisas dependem essencialmente de métodos numéricos de solução de equações diferenciais parciais, que evoluem com a disponibilidade de novas estruturas de processamento e não podem prescindir de recursos humanos altamente qualificados, sendo indispensável garantir-lhes a continuidade através, entre outras coisas, de mecanismos de fixação de pessoal que contribuirão para evitar a evasão de pesquisadores para o exterior. Deve-se buscar, ao mesmo tempo, maior descentralização das pesquisas neste domínio.

A importância para o País da caracterização do seu meio físico e a expressiva participação do seu setor mineral na economia torna indispensável a expansão dos investimentos em mapeamentos geológicos, levantamentos aerogeofísicos e sensoriamento remoto. No final da próxima década, o Brasil necessita dispor de mapas geológicos em escalas adequadas da Amazônia, tendo em vista o seu já demonstrado potencial mineral, e também dos Grandes Sertões e esta deve ser uma das prioridades da área. Tais mapas, associados a estudos dirigidos dos principais distritos mineiros, obtenção e disseminação de produtos de aerolevantamentos geofísicos e sensoriamento remoto e estímulo aos investimentos em exploração mineral, devem permitir significativa ampliação do número de depósitos e minas existentes no País e contribuir para a geração de novos empregos, renda e divisas. Cabe destacar que já existem evidências claras de que a mineração empresarial, quando desenvolvida com responsabilidade, tem impacto muito inferior sobre o meio ambiente comparado aos de outras atividades econômicas, como por exemplo a pecuária extensiva, e pode ser mais facilmente controlada pelos órgãos públicos. Ela representa, portanto, alternativa econômica válida para a Amazônia.

Uma das fragilidades do setor vem do fato de que as pesquisas em lavra, tecnologia mineral, metalurgia extrativa, política e economia mineral ainda são relativamente pouco desenvolvidas no País (Marini, 2001). As

empresas do setor preferem buscar atender isoladamente suas necessidades tecnológicas, em geral fazendo apelo a consultorias no exterior. O fato do número de minas em atividade no País só ter crescido recentemente também contribui para isto. Uma das conseqüências é que o País exporta a maioria dos seus minérios, sem nenhum beneficiamento e, geralmente, com baixos valores de mercado. Como este mercado é muito complexo e altamente competitivo e, como, no momento, há queda nos preços das suas principais matérias primas, são necessários estudos muito cuidadosos de mercado e acompanhamento da sua evolução ao longo de períodos mais longos para definir estratégias conseqüentes. Uma correta avaliação das oportunidades de verticalização da indústria também é indispensável.

Considerando que a Província Mineral de Carajás está se afirmando como a principal do País, seria oportuno promover a instalação na mesma de um instituto de pesquisa que reunisse desde a geologia básica até os diferentes ramos da tecnologia e economia mineral, enfatizando os recursos minerais existentes na região Amazônica e seu adequado aproveitamento econômico, com justo retorno social para a região.

As Ciências da Terra também deverão expandir sua contribuição no estudo da água e da problemática dos recursos hídricos. Dentre os temas de pesquisa que deverão ser privilegiados constam (Tucci, 2001): avaliação dos efeitos das variações climáticas e das modificações antrópicas sobre as bacias hidrográficas e suas possíveis conseqüências; avaliação do potencial dos aquíferos para abastecimento de áreas urbanas e rurais; aprimoramento das técnicas de previsão climática e hidrológica; contaminação de mananciais, tratamento e disposição de esgoto sanitário, industrial e de resíduos sólidos; riscos de inundação em ambientes urbanos; sustentabilidade de longo prazo para as populações do semi-árido com relação à água.

Graças essencialmente ao PADCT, a área deu um salto qualitativo expressivo em termos de equipamentos e capacitação laboratorial. Entretanto, este esforço, longe de ser definitivo e suficiente, deve ser mantido e, possivelmente, ampliado ao longo da década. A rapidez da evolução tecnológica atual não permite qualquer forma de acomodação, sob pena de resultar no aumento da distância que nos separa dos países desenvolvidos. A instalação, num primeiro momento, de um laboratório contando com uma microsonda iônica e, posteriormente, de um segundo, é indispensável para assegurar a competitividade da área e ampliar a sua capacitação em estudos geoquímicos e isotópicos. A adoção por estes laboratórios da metodologia SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion MicroProbe*), desenvolvida por pesquisadores australianos, permitirá aceleração notável na obtenção de dados geocronológicos e isotópicos e, conseqüentemente, avanços importantes na estratigrafia e no conhecimento da Petrologia, Metalogênese e evolução crustal



de nossos terrenos pré-cambrianos. Os avanços conseguidos com a instalação de diversas microsondas eletrônicas no País devem prosseguir até atingir a meta de instalação de pelo menos uma microsonda nas diferentes regiões do País. Os microscópios eletrônicos de varredura, por serem atualmente de uso rotineiro em qualquer pesquisa de nível internacional, devem fazer parte dos equipamentos permanentes de todas as principais instituições com programas consolidados em Paleontologia, Mineralogia, Petrologia, Metalogênese e Geocronologia. A área apresenta grande carência no domínio da Petrologia e Mineralogia Experimental, as quais, além do seu interesse científico, podem estabelecer pontes com o setor dos minerais industriais e de novos materiais. A instalação de pelo menos dois laboratórios nesta área no País ao longo da década seria altamente desejável. As pesquisas oceanográficas e climatológicas dependem igualmente de navios e aeronaves adequadamente equipados, capazes de atender os programas de pesquisa em desenvolvimento. Apesar do louvável e permanente apoio da Marinha Brasileira, este tem sido um ponto crítico de estrangulamento que necessita ser superado. Finalmente, devem ser assegurados os recursos para manutenção e atualização dos laboratórios já instalados e concedidas facilidades para formação e fixação de pessoal técnico qualificado.

Na subárea de Geologia, de modo a garantir que prossiga a sua expansão, juntamente com a ampliação de capacidade laboratorial, o profícuo investimento nas suas diferentes especialidades feito na década passada precisará ter continuidade. Entre as metas científicas para a próxima década podem ser listadas: clarificação dos modelos de evolução crustal e delimitação das províncias tectônicas da Plataforma Brasileira, com maior ênfase para aquelas da Amazônia; estabelecimento de vínculos entre evolução tectônica e gênese de depósitos minerais; elaboração, com base em dados sísmicos, de modelos geofísicos da estrutura litosférica de nosso território; prosseguir os estudos geológicos e geofísicos da plataforma continental, bem como da Geologia e Geomorfologia da zona litorânea.

No entanto, deve ser enfatizado que as várias subáreas vão depender essencialmente do prosseguimento da atual política de formação de recursos humanos, da criação de mecanismos eficazes de fixação de jovens pesquisadores e de novos estímulos para os pesquisadores de um modo em geral. A geração de pesquisadores que iniciou sua atuação nos anos 80 está se aproximando da aposentadoria e o sistema começará rapidamente a perder seus quadros mais experientes. A baixa taxa de renovação das equipes nos últimos anos levará à exaustão da competência existente caso não sejam tomadas medidas enérgicas que possibilitem abrir espaços para jovens doutores. Por outro lado, para enfrentar a amplitude dos desafios colocados não bastará manter os quadros atuais, sendo preciso ampliá-los. Deve-se prever, tam-

bém, crescimento significativo no número atual de docentes da pós-graduação e as bolsas de produtividade em pesquisa devem alcançar patamares compatíveis com a competência existente na área e as suas perspectivas de ampliação na próxima década. Resumindo, garantir o aumento dos recursos humanos na área e oportunidades para os jovens pesquisadores constitui o segundo grande desafio a ser enfrentado ao longo da década. Isto reduzirá os riscos de evasão de cérebros, identificada, por exemplo, na subárea de Ciências Atmosféricas.

Os programas de fixação de recursos humanos devem funcionar, ao mesmo tempo, como mecanismos de diminuição das desigualdades regionais, estimulando-se a absorção de novos pesquisadores preferencialmente em regiões onde a subárea ou a especialidade específica estejam mais carentes, porém evitando-se o isolamento dos referidos pesquisadores. Na realidade, qualquer política destinada a reduzir tais desigualdades tem que ser centrada em fixação de recursos humanos, associada com alocação de recursos financeiros para a pesquisa. A dissociação destes dois fatores de indução da pesquisa resulta inevitavelmente em resultados muito aquém dos desejáveis. O programa Profix representa iniciativa louvável e, se levar em conta a questão dos desequilíbrios regionais, poderá contribuir para a sua redução.

As subáreas de Geofísica e Geografia Física devem merecer atenção especial. Devem ser tomadas medidas ainda no início da década para corrigir as debilidades existentes. Tal como a Oceanografia, a Geofísica deveria ser vista como uma subárea prioritária para fixação de jovens pesquisadores. Como a Geofísica possui tradição na formação de doutores, a renovação da subárea deve ser facilitada. Entretanto, seria ainda aconselhável a formação concomitante de alguns doutores no exterior para assegurar a oxigenação científica da subárea. A Geofísica deve ainda ser estimulada a uma maior integração com as demais subáreas, rompendo o seu isolamento e ampliando, assim, a sua contribuição científica. Esta subárea necessitará também reavaliar as alternativas existentes para os seus cursos de graduação, de modo a sanar as dificuldades enfrentadas e estar apta a atender o aumento previsto de demanda do mercado de trabalho.

Com a consolidação de muitos programas de doutorado no País, a área deverá defrontar-se com crescentes riscos de endogenia ao longo da década. Uma das alternativas salutaras para minimizar esta tendência é o incremento de teses de doutorado sanduíche ou em co-tutela, envolvendo a participação de instituições do exterior. Outra alternativa é estimular ao máximo o intercâmbio entre instituições do País, não somente daquelas de níveis de qualificação desigual, mas também entre as de mesmo nível.

Conforme já destacado, outro grande desafio da área é estimular a interação dos pesquisadores com o setor de educação pré-universitária, as-

segurando, assim, a disseminação do conhecimento gerado e contribuindo para a criação das bases para uma Sociedade do Conhecimento. Entre as medidas imediatas para alcançar tal meta, destaca-se a proposição de criar cursos de licenciatura em Ciências da Terra nas diversas regiões do País, os quais, a partir das experiências acumuladas, poderiam ser gradualmente expandidos. É indispensável igualmente envolver museus, institutos de pesquisa, universidades e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na busca permanente de meios eficazes para disseminar a informação, não só dentro do setor diretamente interessado, mas igualmente para diferentes segmentos da população, incluindo empresários e administradores públicos. Pensamos que estas medidas terão grande importância para a afirmação da área na próxima década.

No que diz respeito à produção científica da área, entre as medidas que podem ser tomadas em curto espaço de tempo, visando ampliar a sua divulgação internacional, deve ser cogitada a publicação no País de um ou mais periódicos com corpo editorial reconhecido internacionalmente e contendo somente artigos em língua inglesa. Tais periódicos deveriam ter recursos assegurados para garantir sua regularidade, criando, assim, condições objetivas para a sua indexação. Esta sugestão deveria ser avaliada pelas sociedades científicas.

Tal como nos demais setores de C & T no País, a interação com o setor empresarial ainda está longe do ideal e os investimentos do mesmo em pesquisa, contrariamente ao que se observa em países desenvolvidos, ainda são muito limitados (Livro Verde). Entre as exceções deve ser registrada a Petrobras, que sempre se caracterizou por grandes investimentos na formação de recursos humanos, tanto internamente quanto através de convênios com universidades, e no desenvolvimento de tecnologia para exploração e produção de petróleo e gás. Com a abertura do setor às empresas multinacionais, existe o risco de diminuição dos investimentos nesta área, pois é muito provável que as mesmas concentrem seus recursos essencialmente na exploração. Este espaço poderá ser ocupado pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), a quem cabe o planejamento e a regulação do setor. O que não pode acontecer é a descontinuidade de investimentos, que viria a comprometer os expressivos resultados alcançados até o momento e o futuro da pesquisa nesta área.

Por fim, cabe ressaltar a necessidade, cada vez maior, nas diversas especialidades de interação com profissionais da área de informática, buscando criar interfaces amigáveis e aplicativos com recursos modernos de visualização. Os geofísicos atuantes em universidades desenvolvem suas pesquisas usando recursos limitados de informática. Daí resultam programas adequados para a fase de pesquisa, mas ineficientes na fase de produção na indústria. Como resultado, estima-se que menos de 20% do conhecimen-

to geofísico produzido pelas universidades seja aproveitado pelas empresas. Para superar este impasse, é importantíssimo o financiamento por parte dos órgãos fomentadores da pesquisa, de projetos destinados à transformação do produto intelectual em produto tecnológico.

## **AGRADECIMENTOS**

Muitos colegas contribuíram com comentários sobre sua visão pessoal da área ou transmitindo-nos documentos e trabalhos que foram de grande valia. Ficam registrados nossos agradecimentos a todos eles. Um agradecimento especial é destinado à pesquisadora Maria Assunção Faus da Silva Dias que auxiliou na revisão e criticou o manuscrito inicial.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ADIMB (Agência para o Desenvolvimento da Indústria Mineral Brasileira). Desenvolvimento metodológico para exploração mineral na Amazônia – Proposta Síntese. Brasília, ADIMB. 2000. 39p.
- BARRÉ, R. & PAPON, P. The state of world science. *Nature Yearbook of Science and Technology*. 2000. p. 2051-2059.
- CAMPOS, D.A. Ensino das Ciências da Terra. In: Academia Brasileira de Ciências (Ed.) *A Importância da Ciência para o Desenvolvimento Nacional*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências. 1997. p. 41-48.
- CAMPOS, D. A., CORDANI, U. G. & KELLNER, A. W. Earth Sciences. In: *BRAZILIAN ACADEMY OF SCIENCES (Ed.) Science in Brazil an overview*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências. 1999. p. 79-88.
- CLÜSENER-GODT, M & SACHS, I. Introduction. In: CLÜSENER-GODT, M & SACHS, I. (Ed.) *Brazilian perspectives on sustainable development of the Amazon region*. Paris, UNESCO & The Parthenon Publishing Group (Man and Biosphere Series 15). 1995. p.1-7.
- CORDANI, U. G. Geociências. In: SCHWARTZMAN, S. (Coord.), *Ciência e Tecnologia no Brasil: a capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica*. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas. 1996. V.3, p. 239-261.
- FERNANDES, L. P. C. (Coord.). *O Brasil e o Mar no Século XXI: Relatório aos Tomadores de Decisão no País*. Rio de Janeiro, Comissão Nacional Independente sobre os Oceanos. 1998. 408p.
- FONTES, S. L. Diagnóstico da Geofísica brasileira – contribuição preliminar da SBGF ao PADCT III. *Revista Brasileira de Geofísica*. 1996. V.14, p. 69-76.
- KRIEGER, E. M. & GALEMBECK, F. A capacitação brasileira para a pesquisa. In: SCHWARTZMAN, S. (Coord.), *Ciência e Tecnologia no Brasil: a capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica*. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas. 1996. V.3, p. 1-18.
- MARINI, O. J. Sugestões de diretrizes para o Fundo Setorial Mineral (CT-Mineral) Documento Básico. Brasília, Ministérios de Ciência e Tecnologia. 2001. 23p.
- MENEGAT, R., PORTO, M. L., CARRARO, C. C. & FERNANDES, L. A. D. (Coord.). *Atlas ambiental de Porto Alegre, UFRGS*. Porto Alegre, Editora da Universidade. 1998. 228 p.

SBG (Sociedade Brasileira de Geologia). Diagnóstico da SBG ao Subprograma Ciências da Terra e Tecnologia Mineral do PADCT. Brasília, Sociedade Brasileira de Geologia. 1996. 84p.

SUSLICK, S. B. (Org.) *Regulação em petróleo e gás natural*. Centro de Estudos de Petróleo, UNICAMP. Campinas, Editora Komedi. 2001. 528p.

SUSLICK, S. B. Geociências: um ensaio preliminar de avaliação e perspectiva. Rev. IG, São Paulo. 1992. Vol. 13, p. 69-81.

TUCCI, C. E. M. Desafios em Recursos Hídricos. 2001. 14p. (inédito).

## Os Autores

ROBERTO DALL'AGNOL (Coordenador desse trabalho). É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor pela Université Paul Sabatier (França) e professor no Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA).

ARI ROISENBERG. É doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e professor na mesma universidade.

JOÃO BATISTA CORRÊA DA SILVA. É doutor pela Universidade de Utah (EUA) e professor na Universidade Federal do Pará (UFPA).

PEDRO LEITE DA SILVA DIAS. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Ciências Atmosféricas pela Universidade Estadual do Colorado (EUA) e professor no Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (USP).

REINHARDT ADOLFO FUCK. É membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), doutor em Geologia pela Universidade de São Paulo (USP) e professor no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB).





