

PROJETO
PiB
Perspectivas do
Investimento no
Brasil



Sistema Produtivo

12

Perspectivas do Investimento em

Ciência

Eduardo da Motta e Albuquerque (Coord)

Marcos José Barbieri Ferreira

Maria da Graça Derengowski Fonseca

Sonia Maria Dalcomuni

Catari Vilela Chaves

Instituto de Economia da UFRJ
Instituto de Economia da UNICAMP



PROJETO PIB: Perspectivas do Investimento em Ciência

Eduardo da Motta e Albuquerque (Coord.)

Marcos José Barbieri Ferreira
Maria da Graça Derengowski Fonseca
Sonia Maria Dalcomuni
Catari Vilela Chaves

Novembro de 2009

P467 Perspectivas do investimento em indústrias baseadas em ciência / coordenador Eduardo da Motta e Albuquerque; Maria da Graça Derengowski Fonseca... [et al.]. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008/2009.
243 p.: 30 cm.

Bibliografia: p. 222-239.

Relatório final do estudo indústrias baseadas em ciência, integrante da pesquisa "Perspectivas do investimento no Brasil", realizada por Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, em 2008/2009.

Ciência - Indústrias. 2. Investimento - Ciências - Brasil. 3. Economia industrial. 4. Relatório de pesquisa (UFRJ/UNICAMP). I. Albuquerque, Eduardo da Motta. II. Kupfer, David. III. Laplane, Mariano. IV. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. V. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. VI. Perspectivas do Investimento no Brasil.

CDD 338.47621318

PROJETO PIB - P I B

EQUIPES:

COORDENAÇÃO GERAL

- Coordenação Geral** - David Kupfer (IE-UFRJ)
- Coordenação Geral Adjunta** - Mariano Laplane (IE-UNICAMP)
- Coordenação Executiva** - Edmar de Almeida (IE-UFRJ)
- Coordenação Executiva Adjunta** - Célio Hiratuka (IE-UNICAMP)
- Gerência Administrativa** - Carolina Dias (PUC-Rio)

Coordenação de Bloco

- Infra-Estrutura** - Helder Queiroz (IE-UFRJ)
- Produção** - Fernando Sarti (IE-UNICAMP)
- Economia do Conhecimento** - José Eduardo Cassiolato (IE-UFRJ)

Coordenação dos Estudos de Sistemas Produtivos

- Energia** – Ronaldo Bicalho (IE-UFRJ)
- Transporte** – Saul Quadros (CENTRAN)
- Complexo Urbano** – Cláudio Schüller Maciel (IE-UNICAMP)
- Agronegócio** - John Wilkinson (CPDA-UFRJ)
- Insumos Básicos** - Frederico Rocha (IE-UFRJ)
- Bens Salário** - Renato Garcia (POLI-USP)
- Mecânica** - Rodrigo Sabbatini (IE-UNICAMP)
- Eletrônica** – Sérgio Bampi (INF-UFRGS)
- TICs**- Paulo Tigre (IE-UFRJ)
- Cultura** - Paulo F. Cavalcanti (UFPB)
- Saúde** - Carlos Gadelha (ENSP-FIOCRUZ)
- Ciência** - Eduardo Motta Albuquerque (CEDEPLAR-UFMG)

Coordenação dos Estudos Transversais

- Estrutura de Proteção** – Marta Castilho (PPGE-UFF)
- Matriz de Capital** – Fabio Freitas (IE-UFRJ)
- Estrutura do Emprego e Renda** – Paulo Baltar (IE-UNICAMP)
- Qualificação do Trabalho** – João Sabóia (IE-UFRJ)
- Produtividade e Inovação** – Jorge Britto (PPGE-UFF)
- Dimensão Regional** – Mauro Borges (CEDEPLAR-UFMG)
- Política Industrial nos BRICs** – Gustavo Brito (CEDEPLAR-UFMG)
- Mercosul e América Latina** – Simone de Deos (IE-UNICAMP)

Coordenação Técnica

- Instituto de Economia da UFRJ
- Instituto de Economia da UNICAMP

REALIZAÇÃO



Fundação Universitária
José Bonifácio

APOIO FINANCEIRO



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior



Após longo período de imobilismo, a economia brasileira vinha apresentando firmes sinais de que o mais intenso ciclo de investimentos desde a década de 1970 estava em curso. Caso esse ciclo se confirmasse, o país estaria diante de um quadro efetivamente novo, no qual finalmente poderiam ter lugar as transformações estruturais requeridas para viabilizar um processo sustentado de desenvolvimento econômico. Com a eclosão da crise financeira mundial em fins de 2008, esse quadro altamente favorável não se confirmou, e novas perspectivas para o investimento na economia nacional se desenham no horizonte.

Coordenado pelos Institutos de Economia da UFRJ e da UNICAMP e realizado com o apoio financeiro do BNDES, o Projeto PIB - Perspectiva do Investimento no Brasil tem como objetivos:

- Analisar as perspectivas do investimento na economia brasileira em um horizonte de médio e longo prazo;
- Avaliar as oportunidades e ameaças à expansão das atividades produtivas no país; e
- Sugerir estratégias, diretrizes e instrumentos de política industrial que possam auxiliar na construção dos caminhos para o desenvolvimento produtivo nacional.



Em seu escopo, a pesquisa abrange três grandes blocos de investimento, desdobrados em 12 sistemas produtivos, e incorpora reflexões sobre oito temas transversais, conforme detalhado no quadro abaixo.

ECONOMIA BRASILEIRA	BLOCO	SISTEMAS PRODUTIVOS	ESTUDOS TRANSVERSAIS
	INFRAESTRUTURA	Energia Complexo Urbano Transporte	Estrutura de Proteção Efetiva Matriz de Capital
	PRODUÇÃO	Agronegócio Insumos Básicos Bens Salário Mecânica Eletrônica	Emprego e Renda Qualificação do Trabalho Produtividade, Competitividade e Inovação
	ECONOMIA DO CONHECIMENTO	TICs Cultura Saúde Ciência	Dimensão Regional Política Industrial nos BRICs Mercosul e América Latina



PROJETO PIB: Perspectivas do Investimento em Ciência

Coordenador

Eduardo da Motta e Albuquerque

Equipe

Marcos José Barbieri Ferreira
Maria da Graça Derengowski Fonseca
Sonia Maria Dalcomuni
Catari Vilela Chaves

Novembro de 2009

Este documento integra o conjunto de estudos do Bloco Economia do Conhecimento e foi elaborado sob a coordenação de José Cassiolato e coordenação geral de David Kupfer e Mariano Laplane.

Este documento foi produzido com base nos seguintes relatórios setoriais:

- Nanotecnologia: Sonia M. Dalcomuni (UFES)
- Biotecnologia: Maria da Graça D. Fonseca (IE-UFRJ)
- Novas fontes de energia: Catari Vilela (PUC-Minas)
- Aeroespacial e Defesa: Marcos B. Ferreira (IE-UNICAMP)

Os relatórios setoriais acima listados apenas serviram de base ou inspiração para a produção deste documento. As opiniões aqui contidas não refletem, necessariamente, a opinião dos autores dos relatórios setoriais.

AGRADECIMENTOS

A preparação desta versão final beneficiou-se de diversos comentários, críticas e sugestões de pesquisadores, debatedores e participantes em diversos seminários realizados ao longo de 2008 e 2009: 1) 26 de junho de 2008: seminário no Hotel Glória, Rio de Janeiro, sobre as indústrias de defesa; 2) 4 de novembro de 2008: seminário sobre indústrias baseadas na ciência, no Hotel Flórida, Rio de Janeiro, no qual André Amaral (FINEP) comentou as apresentações realizadas; 3) os três Workshops de Prospecção Tecnológica realizados no Cedeplar-FMG, Belo Horizonte: Nanotecnologia (19 e 20 de novembro de 2008), Energia Solar (24 e 25 de novembro de 2008) e Biotecnologia (10 e 11 de dezembro de 2008); 4) a reunião de 27 de maio de 2009, com a coordenação da pesquisa (Prof. David Kupfer e Prof. José Eduardo Cassiolato), na qual a primeira versão desta NTS foi discutida; 5) o seminário geral do projeto, realizado no BNDES (15 de junho de 2009), no qual a segunda versão desta NTS foi comentada pelo Professor Marcos A. Pimenta (UFMG), pelo Professor Guilherme Ary Plonski (USP) e por diversos participantes do Seminário, comentários que foram o insumo básico para a terceira versão desta NTS, entregue no dia 12 de setembro de 2009. Finalmente, a partir das observações da coordenação do projeto foi redigida a quarta versão da NTS, sua versão final. A elaboração desta NTS beneficia-se, portanto, de todas as ricas discussões acima mencionadas, de toda a interação com os quatro coordenadores das NTSPs constitutivas das indústrias baseadas na ciência e com as permanentes discussões com a coordenação do Projeto PIB. Agradeço a Luíza Franco pelo trabalho de revisão desta versão final. Os erros são de responsabilidade exclusiva do editor e coordenador desta NTS. A elaboração e revisão desta NTS contaram com o apoio da equipe do Grupo de Pesquisa em Economia da Ciência e da Tecnologia (Cedeplar-UFMG) - Vanessa Oliveira, Soraia Carvalho, Priscila Castro, Isabel Moura, Luíza Franco, André Veloso, Fabio Couto e Silva, Matheus Oliveira e Tiago Rodarte. O apoio da SECTES/FAPEMIG viabilizou a constituição desta equipe e a realização dos três Workshops de Prospecção Tecnológica (Biotecnologia, Nanotecnologia e Energia Solar) sumarizados nos Apêndices 1, 2 e 3 pela equipe do Grupo de Pesquisa em Economia da Ciência e da Tecnologia.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. O Conceito das Indústrias Baseadas na Ciência e uma Adaptação para O Caso dos Países Subdesenvolvidos	12
1.2. Um Diagnóstico Preocupante: O Brasil no Cenário Internacional	14
1.3. O Papel da Articulação da Ciência Nos Processos em Desenvolvimento	18
1.4. O Crescente Peso da Ciência para Tecnologia Como Novo Desafio ao Desenvolvimento	20
1.4.1. A Matriz de Interações Entre Ciência e a Tecnologia	21
1.4.2. O Crescente Conteúdo Científico da Tecnologia	26
1.4.3. Matrizes e Suas Implicações para o Desenvolvimento	29
1.4.4. O Papel da Base Científica Nacional	31
1.4.5. Em Busca de um Padrão de Crescimento Estruturado	31
2. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS NO BRASIL E NO MUNDO	32
2.1. Desafios e Oportunidades Associadas às Mudanças Tecnológicas	33
2.1.1. Um Contexto Especial: A Combinação da Emergência de Novos Paradigmas com um Cenário de Turbulência Sistêmica	33
2.1.2. A Natureza das Tecnologias Envolvidas	34
2.1.2.1. <i>General Purpose Technologies</i> (GPTS)	34
2.1.2.2. Peculiaridades da Aeroespacial e Defesa	36
2.2. Desafios e Oportunidades Associados às Mudanças nos Padrões de Concorrência e Regulação	36
2.2.1. O Papel das Grandes Empresas e sua Capacidade de Investimento e Diversificação	37
2.2.2. O Impacto da Internacionalização das Atividades de P&D	37
2.2.3. Questões Sobre um Padrão de Financiamento das IBCs	39
2.2.4. Patentes se Residentes e de Não-residentes: Bloqueios à Atividade Tecnológica em Áreas Estratégicas?	39
2.3. Desafios e Oportunidades Associados às Mudanças nos Padrões de Demanda Mundial e Nacional	41
2.3.1. A Crise Atual	42
2.3.1.1. Diminuição do Ritmo dos Países Avançados	42
2.3.1.2. A Postura Anunciada da China	42
2.3.2. A Busca de Alternativas Energéticas	43
3. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL	44
3.1. Perspectivas de Investimento em Médio Prazo : 2012	44
3.1.1. Setor Aeronáutico	44
3.1.2. Setor de Defesa	46
3.1.3. Setor Espacial	48
3.2. Perspectivas de Investimento em Longo Prazo. 2022	49
3.2.1. Setor Aeronáutico	49
3.2.2. Setor de Defesa	51
3.2.3. Setor Espacial	51
3.3. Proposições de Políticas	52
3.3.1. Demanda Pública	52
3.3.2. Demanda Privada	53
3.3.3. Tecnologia	54
3.3.4. Núcleo Dinâmico de Empresas	54
4. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS EM BIOTECNOLOGIA	55
4.1. Dinâmica Global de Investimento	55
4.1.1. Analisando a Biotecnologia como uma Indústria Baseada na Ciência	55
4.1.2. Indicadores De C&T&E: Sequenciamentos, Publicações e Patentes	56
4.1.3. Padrões Competitivos e Investimentos em P&D	61
4.2. Tendências de Investimento no Brasil	66

4.2.1. Indicadores De C&T&I: Publicações, Patentes e Sequenciamentos	66
4.2.2. Padrões Competitivos e Estruturas de Mercado	74
4.3. Perspectivas de Médio e Longo Prazos para os Investimentos	76
4.4. Proposições de Políticas, Instrumentos e Estratégias Investidoras	78
5. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS EM NANOTECNOLOGIA	82
5.1. Dinâmica Global do Investimento	82
5.2. Tendências do Investimento no Brasil	93
5.3. Perspectivas de Médio e Longo Prazos para os Investimentos	96
5.4. Proposições de Políticas, Instrumentos e Estratégias para o Investimento	96
6. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS EM NOVAS FONTES DE ENERGIA	98
6.1. Dinâmica Global do Investimento	99
6.1.1. Caracterização das Novas Fontes de Energia	99
6.1.2. A Energia Solar: A Conversão Termosolar e o Módulo Fotovoltaico	102
6.1.3. Identificando a Produção Científica e Tecnológica no Subsistema Produtivo de Energia Solar	104
6.1.4. O Tamanho do Mercado Existente no Mundo Hoje e Distribuição por Países	107
6.1.5. Uma Sistematização das Iniciativas Públicas de Peso Nessas Áreas: <i>A Solar American Initiative (SAI)</i> e a <i>Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS)</i>	108
6.1.6. Empresas Mais Importantes Atualmente no Subsistema Produtivo	112
6.2. Tendências de Investimento no Brasil	113
6.2.1. Cadeia Produtiva – Estrutura	113
6.2.2. Iniciativas Públicas na Área de Energia Solar Fotovoltaica (ESF) no Brasil: PRODEEM e Luz Para Todos	114
6.2.3. Dados de Investimento no Brasil	114
6.3. Perspectivas de Investimento no Médio e no Longo Prazo	115
6.3.1. <i>Timing</i> da Entrada: O Momento Atual é Adequado, Janela de Oportunidade Ainda Está Aberta	116
6.3.2. Situação Atual de Infraestrutura De C&T e de Recursos Humanos em ESF	116
6.4. Proposições de Políticas	117
7. SÍNTESE ANALÍTICA: PERSPECTIVAS DE MÉDIO E LONGO PRAZOS DOS INVESTIMENTOS NO SISTEMA PRODUTIVO	118
7.1. Características Gerais	118
7.1.1. Padrão de Investimentos nos Países Avançados	118
7.1.2. A Economia Brasileira com Mecanismos de Atualização Tecnológica Limitada	119
7.2. Elementos para um Cenário em 2012	119
7.2.1. A Infraestrutura Científica	119
7.2.2. Sinais de Interação de Empresas com essa Infraestrutura Científica	120
7.2.3. O Modesto Movimento das Empresas Estabelecidas e a Existência de Pequenas Empresas	125
7.2.4. Balanço Geral desse Cenário	125
7.3. Elementos para um Cenário em 2020	126
7.3.1. Flexibilidade e Fortalecimento da Infraestrutura Científica	126
7.3.2. Políticas para Impulsionar Empresas a Subirem A "Escada Tecnológica"	127
7.3.3. Diversificação de Grandes Empresas Nacionais em Direção a Tecnologias Emergentes	128
7.3.4. Novas Empresas	129
8. SÍNTESE PROPOSITIVA	130
8.1. Um Sumário do PDP para As Quatro Indústrias	130
8.2. Um Balanço Preliminar do PDP em Relação as Quatro "Indústrias Baseadas na Ciência"	132
8.3. Propostas para as "Indústrias Baseadas na Ciência"	133
8.3.1. Articulação entre Políticas Industriais e Científicas	134
8.3.2. Investimentos Combinados na Dimensão Científica e Industrial	134
8.3.2.1. A Dimensão Científica	135
8.3.2.2. A Dimensão Industrial	135

8.3.2.3. Apoio a Empresas Emergentes	136
8.3.3. Mecanismos para Uma Melhor Focalização das Prioridades Setoriais	136
8.3.4. Reforma dos Mecanismos de Financiamento	136
8.3.5. Rearticulação Institucional: Novo Papel para o BNDES e a FINEP	137
8.3.6. Questões de Regulação	137
8.3.6.1. Articulação entre o INPI, CADE e MRE	137
8.3.6.2. Questões Relacionadas ao Meio Ambiente e Monitoramento de Novas Tecnologias	138
8.3.7. A Construção Combinada dos Sistemas de Inovação e de Bem Estar Social	138
APÊNDICES:	
Apêndice 1: Um Sumário do <i>Workshop</i> de Prospecção em Biotecnologia (CEDEPLAR-UFMG/SECTES/FAPEMIG, Dezembro de 2008)	139
Apêndice 2: Um Sumário do <i>Workshop</i> de Prospecção em Nanotecnologia (CEDEPLAR-UFMG/SECTES/FAPEMIG, Novembro de 2008)	144
Apêndice 3: Um Sumário do <i>Workshop</i> de Prospecção em Energia Solar (CEDEPLAR-UFMG/SECTES/FAPEMIG, Novembro de 2008)	147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150

1. INTRODUÇÃO

Esta NTS trata de um tema decisivo para uma perspectiva de desenvolvimento do país: as "indústrias baseadas na ciência" constituem o que as políticas industriais do Brasil (PCTE, PDP) têm chamado, corretamente, de áreas "portadoras do futuro".

A importância dessas indústrias é tripla: 1) as nações desenvolvidas e as nações que recentemente completaram processos de *catching up* bem sucedidos têm envolvimento grande e crescente com essas indústrias; 2) são indústrias que pela sua natureza forçam uma abordagem mais geral e sistêmica das políticas industriais, na medida em que dependem fortemente de instituições de pesquisa e ensino e de sua interação com empresas do setor, estabelecidas e nascentes; 3) se, por um lado, o próprio sucesso de um processo de *catching up* pode ser definido pela capacidade de um país subdesenvolvido estabelecer um conjunto representativo dessas indústrias, por outro lado, o caráter emergente dessas indústrias, fortemente ligadas a revoluções tecnológicas em curso, abre espaço para as chamadas "janelas de oportunidade" para esses países.

Esta NTS traz observações simultaneamente preocupantes e otimistas.

As notas preocupantes vêm de um diagnóstico de "estagnação relativa" do país no cenário econômico e tecnológico internacional. Esse diagnóstico, realizado a partir da identificação do "efeito Rainha Vermelha" (ver seção 1.2, abaixo), mostra como o Brasil, nos últimos 25 anos tem basicamente conseguido preservar a sua posição relativa no cenário internacional.

As notas otimistas decorrem da existência de espaço real, de possibilidades objetivas de superação desse quadro. Em primeiro lugar, porque o Brasil conseguiu acumular condições mínimas necessárias para iniciar um efetivo processo de *catching up*. De uma forma resumida, o Brasil tem hoje uma acumulação de condições iniciais (economia, tecnologia, ciência e instituições democráticas) melhor do que as que existiam na Coreia do Sul no início da década de 1970. Em segundo lugar, a crise atual no centro do capitalismo deve ser vista como fonte de oportunidades, que podem existir caso os enormes desafios sejam enfrentados de forma adequada. A discussão das propostas de políticas setoriais é o local para o tratamento desses desafios.

Essa rediscussão crítica tem implicações sobre propostas institucionais, indicando – possivelmente – a construção de uma nova divisão de trabalho institucional no interior do sistema de inovação brasileiro, ainda em formação.

Finalmente, uma observação quanto aos setores escolhidos. Quatro "setores" compõem esta NTS: nanotecnologia, biotecnologia, energias limpas e aeroespacial. Esses setores serão discutidos com detalhe adiante. Entretanto, esses quatro setores não incluem todos os setores baseados na ciência atualmente. O conjunto desses setores está distribuído em outras NTSs, como saúde (um setor "fortemente" baseado na ciência, diga-se de passagem), as tecnologias de informação e comunicação. Ao mesmo tempo, dada a natureza de dois setores discutidos nesta NTS – biotecnologia e nanotecnologia – as conexões com setores e indústrias discutidas em outras NTSs é enorme (ver, por exemplo, o uso de biotecnologia pela indústria de papel e celulose). Além disso, como será discutido ao longo desta NTS, o peso da ciência para as tecnologias tem crescido de forma bastante geral. Historicamente, parece ser uma característica do desenvolvimento retardatário de sistemas de inovação – como no caso do Brasil – a importância de instituições de pesquisa e ensino como suporte para o desenvolvimento mesmo de setores mais tradicionais, como agricultura, mineração e metalurgia (ver Suzigan *et al*, 2008).

Dessa forma, é necessário considerar que por um lado, esta NTS busca selecionar setores representativos das "indústrias baseadas na ciência" e, por outro lado, esta NTS trata de uma forma mais ampla e abrangente do conjunto das "indústrias baseadas na ciência".

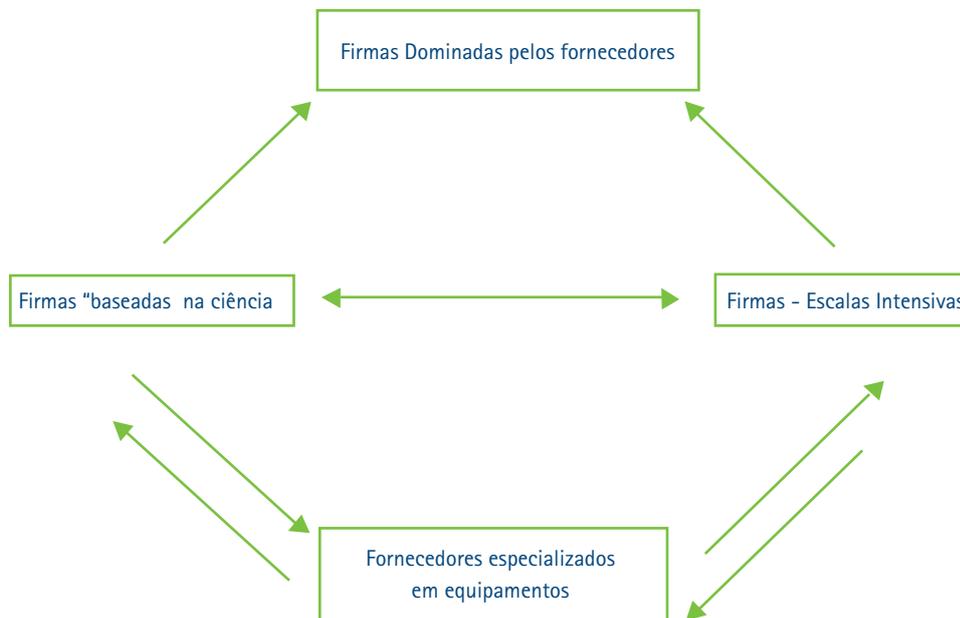
1.1 O Conceito de Indústrias Baseadas na Ciência e uma Adaptação para o Caso dos Países Subdesenvolvidos

O texto clássico de Keith Pavitt (1984), ao discutir "padrões setoriais de mudança técnica", introduz um setor (ou uma trajetória) "baseado na ciência". Por isso é necessário apresentar na introdução desta NTS as ideias principais desse texto.

A partir de cuidadosa avaliação de 2.000 inovações significativas na Grã-Bretanha, entre 1945 e 1979, Pavitt avaliou as "fontes dos principais insumos de conhecimento", o "setor de produção da inovação", o "setor de uso da inovação" e características das firmas inovativas (tamanho e diversificação tecnológica). A partir dos resultados obtidos, Pavitt constrói uma taxonomia de fluxos tecnológicos, que em sua primeira versão envolve quatro trajetórias: 1) "dominada por fornecedores"; 2) "intensiva em escala"; 3) "fornecedores especializados" e 4) "baseada na ciência".

A Figura 1.1 apresenta o esquema clássico de Pavitt (1984).

Figura 1.1 - Fluxos tecnológicos em uma economia desenvolvida



Fonte: Pavitt (1984)

Esse artigo de Pavitt é importante porque resolve um conjunto de questões teóricas e indica como as características do progresso tecnológico são fortemente específicas a cada setor industrial. Características como tamanho da firma inovativa, tipo de inovação predominante, papel dos departamentos de P&D, formas de apropriação das inovações, padrão de interação produtor-usuário e relações com outras instituições são específicas às trajetórias, constituindo um quadro bastante multifacetado da dinâmica tecnológica típica de um país industrializado, conforme Pavitt sugere (pp-344).

A partir da sua avaliação, Pavitt pôde encontrar firmas "baseadas na ciência" nos setores de química e eletroeletrônico (p. 362), nos quais "as principais fontes de tecnologia são as atividades de P&D das firmas nos setores, baseadas no rápido desenvolvimento das ciências relacionadas em universidades e em outros lugares" (p. 362). Discutindo essa dinâmica, Pavitt lista diversos exemplos de como "o desenvolvimento de ondas sucessivas de produtos tem dependido de desenvolvimentos *prévios* nas ciências básicas relevantes": química sintética e bioquímica para a indústria química; eletromagnetismo, ondas de rádio e física do estado sólido para a indústria eletroeletrônica (p. 362).

Entre as características da trajetória, Pavitt apontava um elemento contraditório: por um lado, dada a sofisticação das tecnologias e da suas bases científicas, a entrada de novas firmas é difícil, mas, por outro lado, em função da possibilidade de "mudanças de paradigmas", oportunidades para novas empresas surgem (p. 362). Esse elemento contraditório é extremamente importante para a discussão das indústrias baseadas na ciência em um contexto periférico.

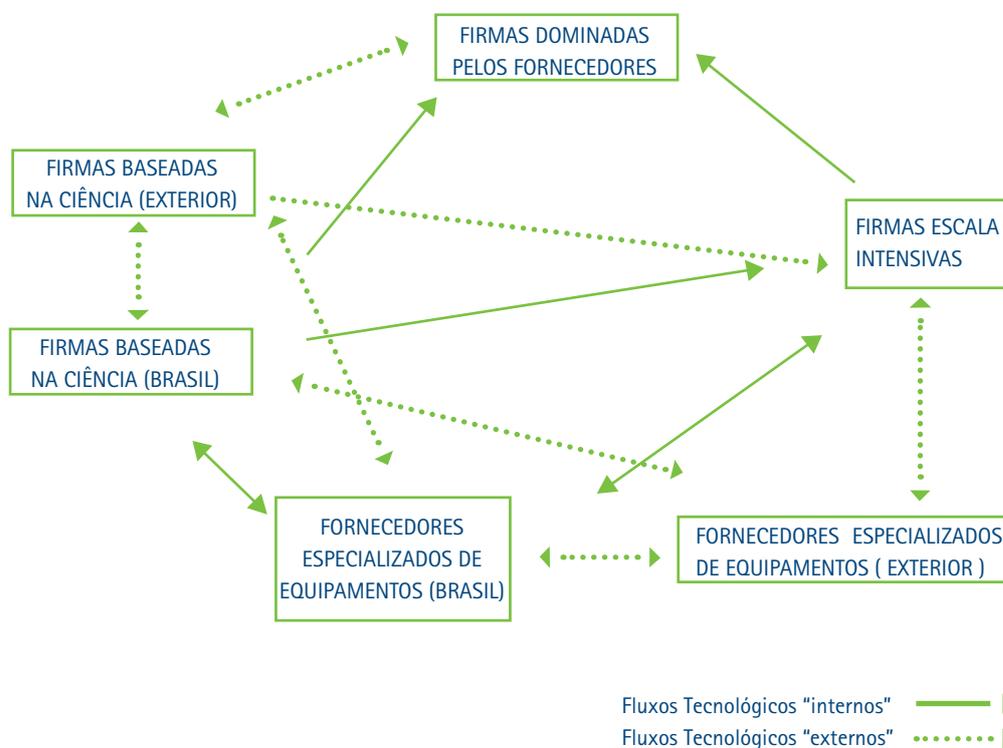
Na elaboração inicial de Pavitt (1984), resumida na Figura 1.1, há um elemento importante para a discussão de países

em desenvolvimento: a importância dos fluxos tecnológicos e o papel estratégico das firmas "baseadas na ciência". Esse papel pode ser percebido através da identificação das firmas "baseadas na ciência" como ponto de partida de fluxos que se dirigem para firmas de todas as outras três trajetórias: as firmas "dominadas por fornecedores", "intensivas em escala" e "fornecedoras especializadas" absorvem tecnologia das firmas "baseadas na ciência". Esse padrão de interação entre firmas de diversas trajetórias é um componente decisivo de um sistema de inovação.

A Figura 1.2 apresenta esse esquema para uma economia como a brasileira, que Celso Furtado chamaria de "subdesenvolvida de tipo avançada", dada a presença de setores produtores de bens de capital no interior da indústria do país. Articular a elaboração de Furtado com a de Pavitt, não é difícil, na medida em que a indústria de bens de capital (tão importante na elaboração de Furtado) incorpora o setor de "fornecedores especializados" de Pavitt. O esquema apresentado na Figura 1.2 envolve também a consideração da inserção do país no cenário internacional, indicando fluxos tecnológicos realizados internamente e outros externamente.

Figura 1.2 - Fluxos tecnológicos em uma economia subdesenvolvida de tipo avançado

Fluxo Setorial intersetorial internacional com a presença de parte de um setor baseado na ciência do país

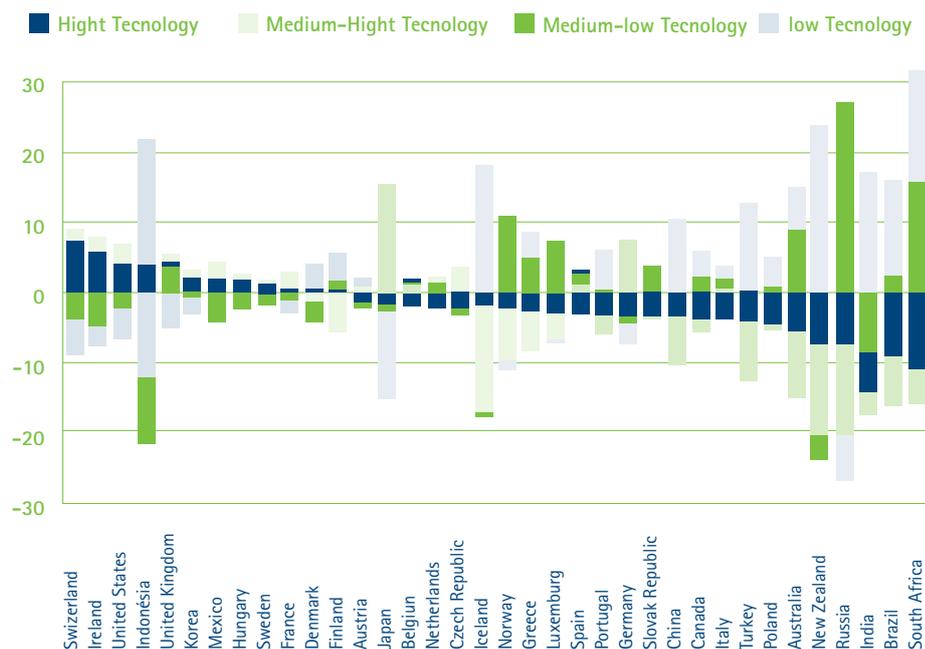


Fonte: Albuquerque (1995), a partir de Pavitt (1984) e Furtado (1982)

A realização de vários desses fluxos tecnológicos fora do espaço nacional (que ficariam ausentes no sistema de inovação do país), especialmente vários dos fluxos que partem de firmas "baseadas na ciência", é uma debilidade importante na constituição do sistema de inovação do país – por debilitar a dimensão interativa inerente à consolidação desse sistema.

Essa debilidade interna dos setores baseados na ciência (e dos fornecedores especializados) e suas severas consequências podem ser verificadas empiricamente do ponto de vista do comércio internacional. A Figura 1.3 sumariza essas repercussões, indicando o peso dos setores de alta e média tecnologia no déficit comercial do país (em geral, os setores de alta tecnologia são "baseados na ciência"). Essa debilidade tem implicações estratégicas e relaciona-se com uma vulnerabilidade externa da economia brasileira (ver os trabalhos de Marco Flávio Resende e Frederico Gonzaga Jayme Junior, do Cedeplar-UFMG, nas articulações entre sistemas de inovação e vulnerabilidade externa das economias).

Figura 1.3 - Balança comercial e conteúdo tecnológico

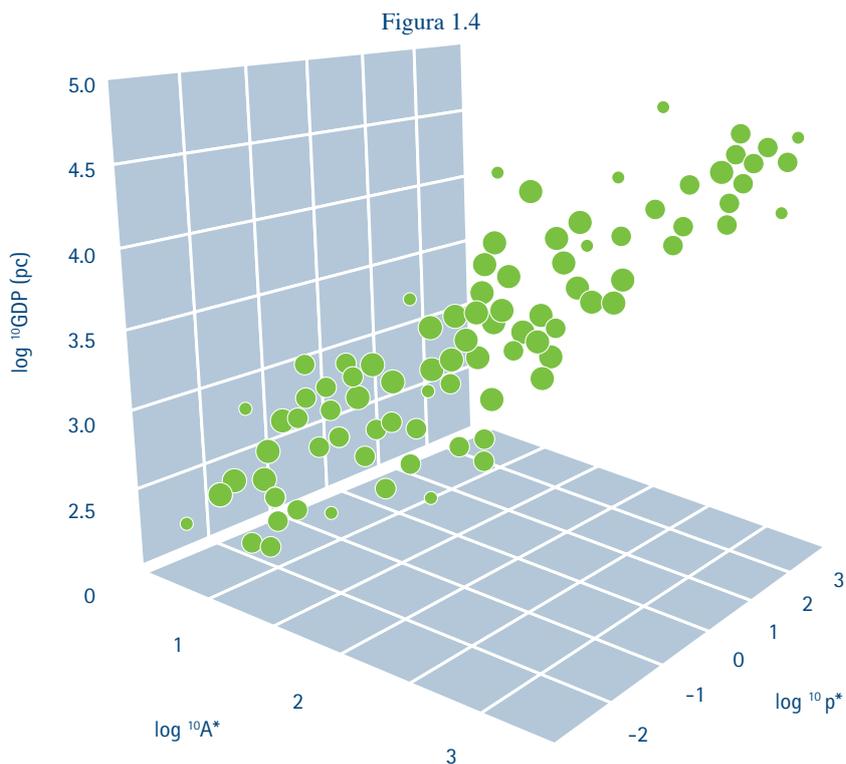


Finalmente, em relação ao texto clássico de Pavitt, há uma observação importante em relação a metamorfoses inerentes ao progresso tecnológico: há a possibilidade de mudanças na posição das trajetórias, com a transferência de algumas trajetórias de "baseadas na ciência" para "fornecedoras especializadas", além do surgimento de novos setores e/ou firmas classificáveis como baseadas na ciência. Certamente esse é o caso de três dos "setores" avaliados nesta NTS (biotecnologia, nanotecnologia e energia solar). Aliás, o próprio Pavitt, apesar de ter explicitamente discutido esse elemento dinâmico de sua taxonomia (pp. 364-365), reformulou posteriormente a sua taxonomia para incluir uma nova trajetória tecnológica: a trajetória "intensiva em informação" (Pavitt, 1992).

A elaboração de Pavitt abre duas discussões importantes para esta NTS. Em primeiro lugar, qual o papel da ciência, que alimenta os estratégicos setores industriais baseados na ciência, nos processos de desenvolvimento? Em segundo lugar, é útil a apresentação de uma ferramenta capaz de captar as mudanças mais importantes na relação entre a ciência e a tecnologia no período posterior à elaboração da taxonomia de Pavitt. Esses serão os temas das próximas seções.

1.2. Um Diagnóstico Preocupante: O Brasil no Cenário Internacional

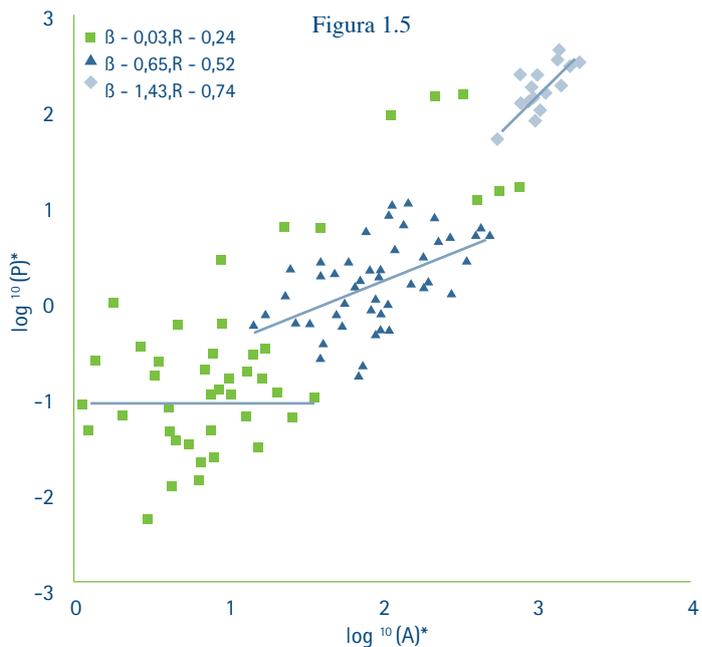
O Brasil faz parte de um conjunto de países que não possui um sistema de inovação completo (ou maduro). Ao lado de países como a Índia, a África do Sul e o México, precisa investir decididamente na construção desse sistema, determinante importante da riqueza das nações. Há evidências estatísticas que apoiam essa afirmação, como a alta correlação entre renda *per capita* e indicadores de produção científica e tecnológica, como está sistematizado na Figura 1.4.



O gráfico tridimensional de log10 (PIB per capita) versus log10 (artigos por milhões de habitantes) versus log10 (patentes por milhões de habitantes) mostra as correlações entre as três variáveis. Os dados representam uma média dos anos de 1999 a 2003.

Fonte: Ribeiro *et al*, 2006

É visível nesse gráfico a forte correlação entre a riqueza dos países (PIB per capita, valores para 2003), a produção tecnológica (média anual das patentes por milhão de habitantes registradas junto ao *United States Patent and Trademark Office* – USPTO – entre 1999 e 2003) e a produção científica (média anual dos artigos científicos por milhão de habitantes indexados pelo *Institute for Scientific Information* – ISI – entre 1999 e 2003). A Figura 1.4 é didática para demonstrar a importância da base técnico-científica nas economias modernas (para maiores detalhes e referências bibliográficas mais importantes, ver Ribeiro *et al*, 2006).



Para os três principais grupos claramente distinguidos aqui, círculos representam os países do regime 3, triângulos representam aqueles do regime 2 e quadrados aqueles do regime 1. O pequeno grupo de três países separado no topo da figura envolve Taiwan, Japão e os Estados Unidos.

Fonte: Ribeiro *et al*, 2006

A Figura 1.5 é a projeção do gráfico da Figura 1.4 no eixo da produção científica (A^*) versus a produção tecnológica (P^*). Ribeiro *et al* (2006) aplicaram uma técnica de *clustering* para agrupar os países. O resultado é a indicação de três grupos, conforme a proposição de Bernardes *et al* (2003) sobre a existência de pelo menos três "regimes de interação". No Regime I, a infraestrutura científica é ainda muito pequena e incapaz de alimentar uma produção tecnológica mínima. No Regime II, a produção científica cresce e pode determinar alguma produção tecnológica, mas não a ponto de viabilizar um efeito retroalimentador sobre a produção científica. Finalmente, no Regime III, as conexões e interações estão plenamente estabelecidas e o principal determinante do crescimento econômico é a capacitação científica e tecnológica. O acesso ao Regime III é o objetivo de um processo de *catching up*. Esses três "regimes" sugeridos por Bernardes *et al* (2003) podem facilmente dialogar com elaboração recente de um relatório da *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO), intitulado *Capability building for catching-up*. Nesse relatório é proposta uma abordagem sobre o desenvolvimento de sistemas de inovação envolvendo três fases (UNIDO, 2005, pp. 73-74). Segundo essa abordagem, o caso do Brasil seria classificado na segunda fase de construção do sistema de inovação.

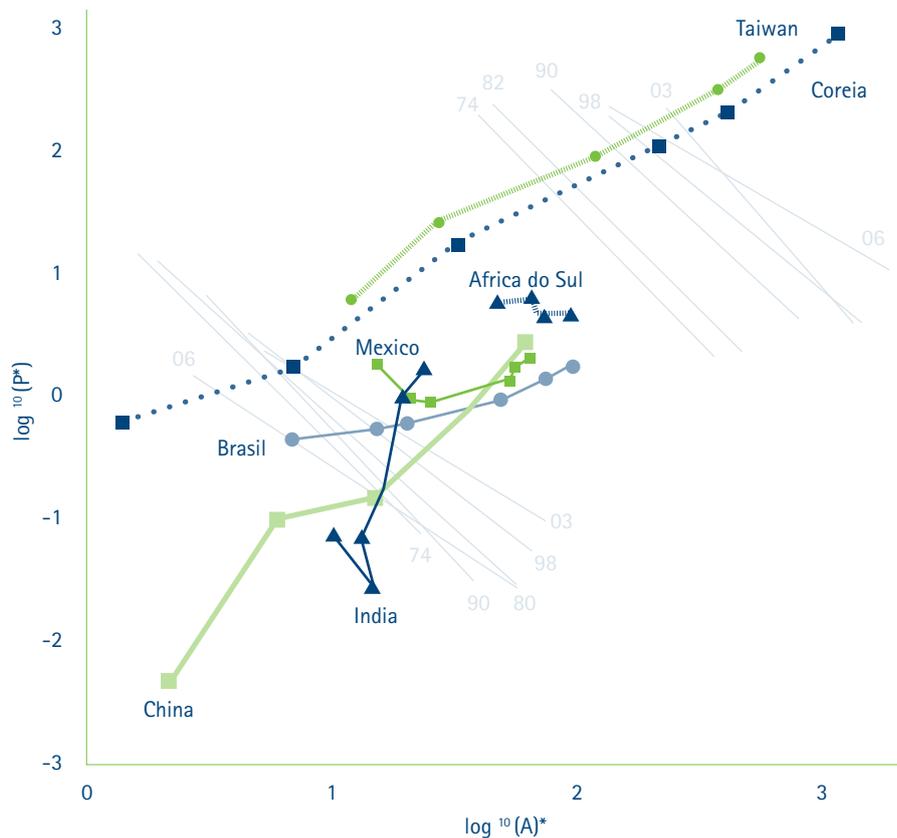
Bernardes *et al* (2003) defendem a necessidade dos países em *catching-up* de alcançarem uma certa "massa crítica" na produção científica, a fim de passar para um estágio superior de interação entre a dimensão científica e a tecnológica. Bernardes *et al* (2003) apresentam os dados referentes à produção científica (artigos por milhão de habitantes, A^*) e à produção tecnológica (patentes por milhão de habitantes, P^*) de 120 países que produziram ao menos uma patente e um artigo em 1998. A avaliação desses dados sugere a existência de um ponto a partir do qual a "eficiência" na transformação de artigos em patentes sofre uma ruptura. A vizinhança da produção de 150 artigos por milhão de habitantes parece constituir-se no limiar de produção científica para os dados de 1998 (esse pequeno exercício estatístico fundamenta a proposição da necessidade do Brasil triplicar a sua infraestrutura científica e tecnológica para iniciar um processo de *catch up*).

A Figura 1.5 atualiza esses dados para 2003. O Brasil mantém-se no Regime II.

As Figuras 1.4 e 1.5 são necessárias para compreender a Figura 1.6. A partir da definição dos três regimes e contando com dados para diversos anos como 1974, 1982, 1990, 1998, 2003 e 2006, Ribeiro *et al* (2009) calculam os diversos limiares entre os grupos (há um limiar entre os regimes 1 e 2, e outro entre os regimes 2 e 3). O resultado está na Figura 1.6, na qual a movimentação dos limiares está representada.

A Figura 1.6 também apresenta as trajetórias de países selecionados, para efeito de comparação. Cada país é representado por pontos, que são a interseção entre a produção científica (A^*) e tecnológica (P^*), para os seguintes anos 1974, 1982, 1990, 1998, 2003 e 2006; a China é exceção, pois o primeiro ponto representa os dados para 1982 e não 1974. Além disso, a Figura 1.6 apresenta a movimentação dos limiares entre os regimes 1 e 2 e entre os regimes 2 e 3 para os seis anos avaliados.

FIGURA 1.6 - DESLOCAMENTO DOS LIMIARES ENTRE OS REGIMES TECNOLÓGICOS E DE PAÍSES SELECIONADOS EM C&T (1974-2006)



Em relação à movimentação dos limiares, a Figura 1.6 indica que os limiares entre os regimes 2 (do qual o Brasil faz parte atualmente) e o regime 3 (cuja participação deve ser uma meta para o Brasil) avançam mais rapidamente do que o limiar dos dois regimes inferiores. Entre 1974 e 2003 o limiar entre os regimes 2 e 3 cresceu 6,6% ao ano, em termos da produção científica per capita, ou seja, é necessário aumentar a produção científica e tecnológica nessa taxa para se manter dentro do regime 2. Essa movimentação é denominada "efeito Rainha Vermelha": os países podem ampliar a sua produção científica de forma significativa (cerca de 85% em uma década) apenas para permanecerem na mesma posição. Esse parece ser o caso do Brasil nos últimos 20 anos: desde 1982 o Brasil está e permanece no regime 2, onde aumentou sua produção científica e tecnológica, mas aquém do necessário para mudar para o regime 3.

Uma observação em relação à Coreia do Sul e Taiwan, que entraram no Regime III: o aumento quantitativo na produção científica e tecnológica está relacionado a entrada em novas indústrias (em especial relacionadas à revolução das TICs). Talvez desse ponto decorra uma lição importante: para a superação do limiar entre os regimes II e III é necessário entrar em indústrias emergentes, desenvolver capacitação interna para construir indústrias relacionadas a essas novas tecnologias. Esse é um argumento que reforça a necessidade do Brasil entrar nas quatro indústrias nesta NTS. E como será discutido na próxima subseção, que trata das patentes da Coreia do Sul, há uma relação entre esse crescimento quantitativo e mudanças importantes na qualidade das patentes depositadas por residentes daquele país.

O desafio colocado para esta NTS é o desenvolvimento de indústrias baseadas na ciência, que caso seja alcançado certamente implicará na entrada do país no regime 3.

1.3. O Papel da Articulação com a Ciência nos Processos de Desenvolvimento

Essa seção é necessária porque muitas vezes, mesmo entre autores da economia da tecnologia, o papel da ciência em processos de desenvolvimento é subestimado. Uma resumida mas cuidadosa avaliação desse papel deve compor, assim, a introdução dessa NTS.

Nelson & Rosenberg (1993, pp. 5-9) apontam para o entrelaçamento entre ciência e tecnologia como característica chave dos sistemas nacionais de inovação. Eles resumem as complexas interações entre estas duas dimensões realçando que ciência é, ao mesmo tempo, "líder e seguidora" do progresso tecnológico. Evidências sobre este duplo papel podem ser recolhidas na literatura.

Rosenberg (1982) apresenta o papel da tecnologia como: 1) uma fonte de questões e problemas para o esforço científico; 2) um "enorme depósito de conhecimento empírico a ser perscrutado e avaliado pelos cientistas" (p. 144); 3) uma contribuição para a formulação de uma "subsequente agenda para ciência" (p. 147); 4) uma fonte de instrumentos, equipamentos para pesquisa etc. Rosenberg conclui que fortes impulsos econômicos estão moldando, dirigindo e restringindo a empresa científica (p. 159).

Na direção oposta deste fluxo, Klevorick et al (1995) apresentam evidência empírica sobre o papel das universidades e da ciência como uma importante fonte de "oportunidades tecnológicas" para a inovação industrial. Esse estudo mostra como setores industriais diferentes avaliam a importância relativa das universidades e da ciência para suas capacidades inovativas.¹

Rosenberg (1990) pergunta "por que as empresas fazem pesquisa básica", e sugere que a pesquisa básica é um "bilhete de entrada para uma rede de informações". Este ponto está relacionado à discussão de Cohen e Levinthal (1989) sobre as duas faces da P&D (inovação e aprendizagem), enfatizando a importância do investimento como modo de desenvolver "capacidade de absorção". Narin et al (1997) encontram evidência empírica para a interação crescente entre a ciência financiada pelo setor público e a indústria nos EUA. Finalmente, um estudo recente da OCDE descreve a "intensificação das relações ciência-indústria na economia do conhecimento", realçando que "elos com a ciência são mais importantes que no passado" (OCDE, 2002, p. 16).

Assim, estes estudos indicam a relevância destas duas dimensões das atividades inovativas, acentuando a divisão do trabalho entre elas, apoiando o entendimento das fortes e mútuas retroalimentações entre ciência e tecnologia em países desenvolvidos, e apontando a intensificação desta relação. Portanto, esta literatura sugere que para um moderno crescimento econômico estas relações devem estar funcionando.

Em suma, a literatura sobre economia da tecnologia poderia ser vista evoluindo como se segue: 1) começando com um simples modelo proposto por Schumpeter (1911), onde a inovação impulsiona o desenvolvimento econômico; 2) aprimorando a compreensão do papel da ciência para a inovação nas sociedades desenvolvidas, criticando o modelo linear de tecnologia e sugerindo uma abordagem interativa (Rosenberg, 1976, 1982); 3) indicando uma divisão do trabalho entre diferentes componentes dos Sistemas Nacionais de Inovação (Freeman, 1995; Nelson, 1993); 4) investigando papéis específicos da ciência, tecnologia e suas interações, para desenvolvimento industrial e econômico (Pavitt, 1990; Rosenberg, 1991; Klevorick et al, 1995; Narin *et al*, 1997). A questão a ser abordada a seguir é: como estas lições podem ser aplicadas ao caso dos países menos desenvolvidos?

Para discutir o caso dos países menos desenvolvidos – em particular os países de *catching up* bem sucedido – faz-se necessário entender algumas peculiaridades da interação entre ciência, tecnologia e desenvolvimento. Se estas interações fundamentam o moderno desenvolvimento econômico, é necessário evitar um "modelo linear invertido" (implícito ou explícito) para os países menos desenvolvidos.²

¹Kleivorick et all (1995) demonstram porque as empresas monitoram e acompanham o desenvolvimento nas universidades. Particularmente em indústrias de alta tecnologia, existe um grande fluxo de conhecimento correndo das instituições científicas para os setores industriais.

²Pavitt (1998) poderia apresentar uma elaboração desta posição. Em uma discussão com "novos teóricos do crescimento", Pavitt discute as direções dos nexos causais entre "ciência e tecnologia nacionais" e, pergunta: "eles partem de uma base da ciência nacional que cria ideias e descobertas que o sistema de tecnologia nacional pode explorar? Ou eles vão da base da tecnologia nacional que cria demandas por – e recursos para – o sistema científico nacional?". E responde: "nossa leitura desta (imperfeita) evidência... é que esse nexos causal vem do sistema de tecnologia nacional para o sistema de ciência nacional" (p.800).

Um "modelo linear invertido" completo sugeriria o seguinte esquema: primeiro desenvolvimento econômico, depois recursos disponíveis para desenvolvimento tecnológico, e finalmente o crescimento de instituições científicas. Porém, existe um problema: o que alimenta o desenvolvimento econômico? Em um mundo econômico de crescente sofisticação tecnológica e crescentemente dependente de sua base científica, como podem os países menos desenvolvidos investir em ciência e tecnologia? Sem estes investimentos, o que os ligará à rede internacional de informação científica e tecnológica?

As hipóteses desta nota temática sugerem que as interações entre ciência e tecnologia são importantes desde o começo do processo de desenvolvimento. Estas interações, de qualquer forma, têm diferentes apresentações *vis-à-vis* países já desenvolvidos. Para introduzir a discussão a respeito desta interação peculiar e específica, este trabalho investiga, em primeiro lugar, o papel específico da ciência nos países menos desenvolvidos: qualificações importantes do papel da ciência na periferia são os pontos iniciais dos argumentos desta nota temática.

O início do processo de desenvolvimento tecnológico depende pesadamente da imitação. A literatura sobre economia da tecnologia tem criticado profundamente visões que subestimam os esforços dos países nesse sentido. Silverberg (1990, p. 179) mostra como a imitação e a difusão de tecnologias devem ser vistas como uma continuação do processo inovativo, é preciso criatividade para copiar tecnologia desenvolvidas externamente. Cimoli & Dosi (1995, pp. 258-259) apontam que a combinação entre aquisição de conhecimento e aprendizagem, e a sequência que corre da cópia para a criatividade são dois lados do mesmo processo.

O esforço em imitar relaciona-se com capacidades internas: estágios iniciais de desenvolvimento e processo de *catching up* estão sujeitos à capacidade de absorção, sendo que tal capacidade exige um certo nível de capacidade científica. Outro ponto a ser destacado é o papel duplo de P&D para as empresas: inovação e aprendizado, conforme Cohen & Levinthal (1989). Durante as fases iniciais de desenvolvimento, instituições científicas são necessárias principalmente para o aprendizado do processo inovativo.

Além deste papel chave de apoio à capacidade de absorção, as instituições científicas têm outras importantes contribuições para o desenvolvimento. Primeiro, elas atuam como "focalizador" neste processo. Ciência na periferia é importante para funcionar como uma "antena" para a criação de elos com fontes internacionais de tecnologia. Como "focalizador", instituições científicas poderiam demarcar linhas de desenvolvimento tecnológico que são factíveis a países subdesenvolvidos. Isto significa que informação científica é necessária até mesmo para apontar em quais setores industriais a entrada é inviável. Isto é muito importante para países menos desenvolvidos: uma "busca cega" pode ser desgastante. Portanto, as instituições científicas proveriam "conhecimento para uma busca focada" (Nelson, 1982).

Segundo, a capacidade científica nacional é um apoio para o desenvolvimento industrial, fornecendo conhecimento necessário à entrada em indústrias-chave de processos de desenvolvimento. Como Perez & Soete (1988) avaliam, o conhecimento científico fornecido pela infraestrutura pública reduz os custos de entrada em setores-chave.

Terceiro, existem outras ligações mais intrincadas entre conhecimento e crescimento; como a corrente de relação causal entre aprimoramentos na dimensão científica e consequentes aprimoramentos nas condições de vida material da população, que por sua vez, conduz a um crescimento econômico maior. Isto poderia ser uma ligação indireta entre ciência e crescimento, um elo que não poderia ser alcançado sem investimento interno em disciplinas científicas relacionadas à saúde, dado o extraordinário distanciamento entre necessidades globais de saúde e a agenda de pesquisa dos países mais desenvolvidos.

Em quarto lugar, um outro elo causal deve ocorrer entre a ciência e os avanços na agricultura. Tecnologias para a agricultura possuem "especificidades ecológicas", dadas condições singulares, tais como irrigação, características do solo, resistência das plantas a insetos, etc. Assim, investimentos nacionais nos países menos desenvolvidos são necessários, já que as tecnologias "não podem ser transferidas de uma região à outra apenas através da experiência" (UNDP, 2001, p. 96).

Em quinto lugar, dada a atual divisão global em tecnologia, a maioria das inovações provém de países de renda elevada e clima temperado, países que já completaram seu processo de transição demográfica e que têm sua estrutura epidemiológica baseada em doenças crônicas, etc.. Assumindo que a imitação é a forma inicial para a inovação local, é indispensável um enorme esforço para adaptar as tecnologias para um novo ambiente (em termos de renda, clima, demografia e epidemiologia). Esse esforço, em uma época em que a tecnologia baseada em ciência é crescente, tem um inevitável conteúdo científico e instituições nacionais (fortemente conectadas com redes internacionais e comunidades) devem fornecer esse conteúdo. Desse modo, a alocação de recursos para o desenvolvimento científico é necessária desde os estágios iniciais de desenvolvimento.

Em suma, existem vários argumentos para a relevância da ciência desde o início dos processos de desenvolvimento. Esses argumentos sustentam a necessidade de investimentos em instituições científicas antes mesmo do processo de *catching up*. Esta seção questiona um "modelo linear invertido" para países menos desenvolvidos, ao mesmo tempo em que mantém a já conhecida crítica ao "modelo linear". A crítica simultânea ao modelo linear e ao seu oposto – o modelo linear invertido – baseia-se na ênfase no elemento interativo presente nos sistemas de inovação.

Países desenvolvidos possuem sistemas de inovação articulados e consolidados. Outros, que recentemente realizaram processos de *catching up* bem-sucedidos (Coreia do Sul, Taiwan), apoiaram-se na construção desses sistemas. Neste século, qualquer projeto de desenvolvimento passará pela consolidação dos sistemas de inovação.

As economias mais fortes são impulsionadas, hoje, pela revolução das tecnologias de informação e comunicação, que, ao que tudo indica, antecede uma iminente revolução tecnológica baseada na biotecnologia. Esse cenário depende fundamentalmente da interação das universidades (e institutos de pesquisa públicos) e empresas. Em outras palavras, das interações entre ciência e tecnologia.

Esse processo é dinâmico, pois às vezes a ciência lidera, às vezes ela segue o rastro da inovação industrial. Essa interpretação do papel da ciência significa considerar importante para o desenvolvimento questões e demandas que as empresas apresentem para as universidades.

Por isso, um setor industrial com baixa motivação para inovar pode ser considerado como um fator limitador do desenvolvimento científico do país. O que, por sua vez, torna-se um fator limitador da inovação industrial.

1.4. O Crescente Peso da Ciência para a Tecnologia como Novo Desafio ao Desenvolvimento

Desde 1984, data do texto do Pavitt, o peso da ciência para o progresso tecnológico tem crescido. Como discutido na seção anterior, Klevorick et al (1995) e Narin *et al* (1997) são exemplos de textos importantes para indicar esse peso crescente.

Esta seção, baseada em Ribeiro et al (2009), apresenta matrizes de interações entre ciência e tecnologia e sugere como elas podem indicar políticas de desenvolvimento para o século XXI.

Matrizes de interação entre ciência e tecnologia disponibilizam informações sobre a maneira pela qual a tecnologia é dependente da ciência e, na medida que são comparadas ao longo do tempo, revelam como a ciência tem se tornado mais importante para a tecnologia.

Uma vez apresentadas essas matrizes gerais, será destacada a primeira contribuição original desse trabalho: o preparo de tais matrizes tanto para países desenvolvidos quanto para países em desenvolvimento. A partir desta visão, é possível entender como os padrões de interações entre ciência e tecnologia, observados nos países, caracterizam seus estágios de desenvolvimento econômico. Para uma análise mais detalhada dessas matrizes, são propostos três indicadores que permitem uma visão global e que identificam a relação entre países representados nas matrizes. Tal proposição pode ser considerada uma segunda contribuição desse trabalho. Por último, um desses indicadores – correlação intertemporal de matrizes – fornece informações para uma terceira contribuição: a identificação de padrões de crescimento estruturado que diferencia países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Estes padrões de crescimento estruturado sugerem políticas públicas de desenvolvimento, enfatizando a necessidade de uma articulação entre as dimensões industrial e tecnológica e a esfera científica. O entrelaçamento destas duas dimensões é o componente-chave para políticas de desenvolvimento do século XXI.

1.4.1. A Matriz de Interações entre Ciência e a Tecnologia

Serão apresentados os dados da matriz de interação entre ciência e tecnologia de duas diferentes formas: uma tabela, que permite uma observação dos dados brutos e um gráfico, que possibilita uma visualização mais clara dos dados como um todo. Nesta seção são apresentados os dados dos Estados Unidos relativos ao ano de 2006.

O arcabouço teórico e empírico para esta matriz provém de uma ampla literatura sobre citações de artigos científicos e outras referências em patentes como ferramentas para a avaliação de interações entre ciência e tecnologia. A citação à literatura de C&E (Ciência e Engenharia) em patentes é um indicativo do conteúdo científico presente na tecnologia. Um exemplo é a primeira patente de diagnóstico por imagem utilizando ressonância magnética para identificação de tecidos cancerosos em humanos (USPTO, número da patente 3.789.832 concedida em 1974). Esta patente cita um artigo de autoria de J. R. Singer, publicado pelo *Journal of Applied Physics* em 1960, artigo este que descreve aplicações de técnicas de ressonância nuclear em processos biológicos. Um outro exemplo é a patente de Cohen e Boyer (USPTO, número da patente 4.237.224, concedida em 1980) que transformou a biotecnologia em uma nova área tecnológica. Esta patente cita 14 artigos científicos que destacam o estado de desenvolvimento anterior dessa área e como "introduzir capacidade genética em micro-organismos". Estes dois exemplos, embora relacionados a patentes muito importantes, não são exceções de acordo com a base de dados utilizada: o número de literatura de C&E citada em patentes do USPTO aumentou de 7.115 em 1974 para 822.733 em 2006.

Narin *et al* (1997), os idealizadores desta matriz e cujo trabalho pioneiro focava em áreas tecnológicas selecionadas (patentes de drogas e de medicamentos), construíram uma pequena matriz a partir da área científica do artigo citado (p. 321). Em seguida, este tipo de matriz foi expandida por Tijssen *et al* (2000, p. 406), Verbeek *et al* (2002b, pp. 30-37) e Callert (2006, p. 17) para certos domínios tecnológicos e áreas de C&E.

Em uma revisão ampla da literatura, Tijssen *et al* (2000, p. 398, tradução nossa) afirmou que: "*No geral, este novo conjunto de evidências confirma que citações à literatura de C&E (non-patent citations - NPCs) representam conexões explícitas entre pesquisa científica e inovação tecnológica e, conseqüentemente, podem ser utilizadas como uma fonte razoavelmente válida de informação sobre a interação entre ciência e tecnologia*". Em uma outra vasta revisão da literatura, Tijssen (2004, p. 704, tradução nossa) ressaltou que "[...] *conexões derivadas de citações [...]*" são "[...] *apropriadas para estatísticas sobre interações entre ciência e tecnologia*."

Para a construção das matrizes, foram coletados e processados dados de todas as patentes registradas no USPTO, de todos os países, nos anos de 1974, 1982, 1990, 1998 e 2006. Partindo dos dados das patentes, a construção das matrizes se faz em três etapas. Primeiramente, as classes das patentes são processadas e convertidas em subdomínios tecnológicos definidos pelo *Observatoire des Sciences et Techniques* (OST). Na segunda etapa, são identificadas todas as citações feitas por essas patentes à literatura de C&E. Em seguida, são processados e classificados, através de uma análise léxica, os dados referentes à literatura de C&E nas áreas científicas definidas pelo *Institute for Scientific Information* (ISI) (Braun *et al*, 1996).

Este processo resulta em matrizes com 810 células: 30 linhas (os 30 subdomínios do OST) e 27 colunas (as 27 disciplinas de C&E do ISI). A tabela 1a lista estes 30 subdomínios tecnológicos do OST e, a tabela 1b, as 27 disciplinas de C&E do ISI.

Tabela 1.1 - Os 30 subdomínios tecnológicos do ost e as 27 disciplinas de ciência e engenharia, de acordo com o ISI

Tabela 1a		Tabela 1b	
OST Codes	OST Names	ISI Codes	ISI Names
1	Electrical components	1	Mathematics
2	Audiovisual	2	materials Science
3	Telecommunications	3	Eletronic Engineering
4	Information tecnologia	4	Nuclear Sciences
5	Semiconductors	5	Mechanical,Civil and other engineering
6	Optics	6	Inorganic Chemistry and Engineering

Tabela 1a		Tabela 1b	
OST Codes	OST Names	ISI Codes	ISI Names
1	Electrical components	1	Mathematics
2	Audiovisual	2	materials Science
3	Telecommunications	3	Eletronic Engineering
4	Information tecnologia	4	Nuclear Sciences
5	Semiconductors	5	Mechanical,Civil and other engineering
6	Optics	6	Inorganic Chemistry and Engineering
Tabela 1a		Tabela 1b	
OST Codes	OST Names	ISI Codes	ISI Names
7	Analysis,measured and control	7	Analytical Chemistry
8	medical engineering	8	Physical Chemistry
9	Organic fine chemicals	9	Organic Chemistry
10	Macromolecular chemirstry	10	Applied Physics
11	Pharmaceuticals and cosmetics	11	Solid State Physics
12	Biotechnology	12	Geosciences
13	Agricultural and food products	13	Other Physics
14	Technical procedures	14	Ecology
15	Surface technology and coating	15	Food Science and Agriculture
16	Material processing	16	Food and Pharmacy
17	Materials and Metalurgy	17	Biotechnology
18	Thermal techniques	18	Microbiology
19	Basic chemical processing	19	General Biology
20	Enviroment and pollution	20	Pharmacology and Pharmacy
21	Machine Tools	21	Public Health
22	Engines, pumps and turbines	22	Pathology
23	Mechanical components	23	Neuroscience
24	Handing and Printing	24	Reproduction Medicine and Geriatrics
25	Agricultural and food machinery	25	Internal Medicine
26	Transport	26	Research Medicine
27	Nuclear engineering	27	Imunology
28	Space Tecnology and weapons		
29	Consumer goods and equipment		
30	Civil Engineering and building		

Fonte: OST (2006), Braun et al (1996) (ver Ribeiro et al, 2009)

A tabela 1.2 apresenta um exemplo de uma matriz de interação entre ciência e tecnologia: a matriz norte-americana de 2006. Para possibilitar a visualização clara dos dados é apresentada, nessa versão, apenas uma submatriz com 14 linhas e 14 colunas selecionadas³.

³Esta versão mais resumida da matriz é aqui apresentada porque existem limites editoriais ao tamanho da tabela. A matriz completa (27X30) está disponível por solicitação.

Tabela 1.2 - Matriz de interações de ciência e tecnologia, número de citações à literatura de C&E em patentes do uspto, de acordo com subdomínios tecnológicos de c&e e disciplinas selecionadas de ciência e engenharia do ISI

Code	ISI Science and engineering disciplines OST Technological sub-domains	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	25	26	27
		Mathematics	Materials Science	Electronic Engineering	Nuclear sciences	Mechanical, Civil and Other Eng.	Inorganic Chemistry and Eng.	Analytical Chemistry	Physical Chemistry	Organic Chemistry	Applied Physics	Solid State Physics	Internal Medicine	Research Medicine	Immunology
1	Electrical Components	370	6689	21656	2027	9400	12199	264	117	5140	1905	3014	994	5122	1670
2	Audiovisual	300	4402	14334	791	5710	5464	67	17	1823	877	1266	753	2532	702
3	Telecommunications	2482	22582	80868	3610	31132	31393	596	139	9855	5105	7336	4244	15929	5021
4	Information technology	2689	33939	103396	4833	45183	34639	517	109	12284	5925	9508	4975	14629	5037
5	Semiconductors	654	12696	33921	103396	4833	45183	34369	115	11664	4025	8797	1769	7341	2386
6	Optics	304	5863	16493	1256	8038	7301	91	65	4390	1471	2713	824	2640	840
7	Analysis, measurement and control	1375	18320	44800	3549	21884	30139	779	219	8381	4580	5689	3804	13256	5425
8	Medical engineering	481	7471	17214	1468	9895	10956	131	64	4016	1532	1833	3181	6209	1654
9	Organic fine Chemicals	4121	24992	42632	5490	26790	65052	414	187	17108	3573	5170	7916	30202	13818
10	Macromolecular chemistry	273	6146	9937	1186	6568	14556	128	75	9188	949	1159	1681	5610	2159
11	Pharmaceuticals and cosmetics	2018	22473	32549	3819	22197	42247	209	108	11306	2491	3633	7101	22396	13943
12	Biotechnology	1608	25513	37408	4976	24956	47031	508	147	11906	3343	4018	6391	32882	12292
13	Agricultural and food products	240	4788	7680	612	4180	6909	86	37	1740	429	674	1016	3711	804
14	technical procedures	262	4886	4886	10242	7474	9744	384	250	2800	1148	1403	964	3075	1365

Fonte: Ribeiro et al, 2009. A versão completa da tabela 1.2 está disponível caso por solicitação.

Para ilustrar o significado de cada célula da matriz, foi escolhida, como exemplo, a célula correspondente ao subdomínio "farmacêuticos e cosméticos" (linha 11) do OST e a área de C&E do ISI, "pesquisa em medicina" (colunas 26). Esta célula informa quantas citações foram feitas em patentes classificadas no subdomínio tecnológico "farmacêuticos e cosméticos" à literatura de C&E classificada na área científica "pesquisa em medicina".

O número em cada célula da matriz significa que, no caso do subdomínio do OST "farmacêuticos e cosméticos" (linha 11) e da área de C&E "pesquisa em medicina" (coluna 26) do ISI, há 22.396 citações à literatura de C&E desta área científica feitas por patentes deste domínio tecnológico. A célula da matriz com maior número de citações é aquela relacionada ao subdomínio do OST "tecnologia da informação" (linha 4) e à área de C&E "engenharia eletrônica" (coluna 3) do ISI, com 103.396 citações.

De um lado, esta matriz pode fornecer informações úteis sobre as áreas de C&E que são relevantes a domínios tecnológicos específicos. Um exemplo disto é o fato de que o subdomínio "biotecnologia" (linha 12) necessita de grandes contribuições das seguintes áreas científicas: "engenharia e química inorgânica" (coluna 6), "engenharia eletrônica" (coluna 3, que engloba a ciência da computação) e "pesquisa em medicina" (coluna 26). Por outro lado, há informação referente a domínios tecnológicos que utilizam áreas específicas de C&E. Por exemplo, "pesquisa em medicina", como uma área de C&E (coluna 26), é importante, principalmente, para os seguintes subdomínios tecnológicos: "biotecnologia" (linha 12), "químicos orgânicos finos" (linha 9) e "farmacêuticos e cosméticos" (linha 11).

Por fim, vale salientar que a tabela 1.2 apresenta uma matriz quase totalmente preenchida, com apenas três células

vazias. Como será apresentado nas próximas seções, o nível de preenchimento da matriz varia significativamente por país e ano.

A figura 1.7 exibe uma apresentação tridimensional da matriz para os Estados Unidos em 2006, exibida na tabela 1.2. A transformação da matriz em um gráfico é importante de ser ressaltada, uma vez que será utilizada a seguir. Os gráficos são apenas uma outra forma de apresentação da matriz, previamente elaborada como tabela, que permite uma visualização mais clara dos dados como um todo.

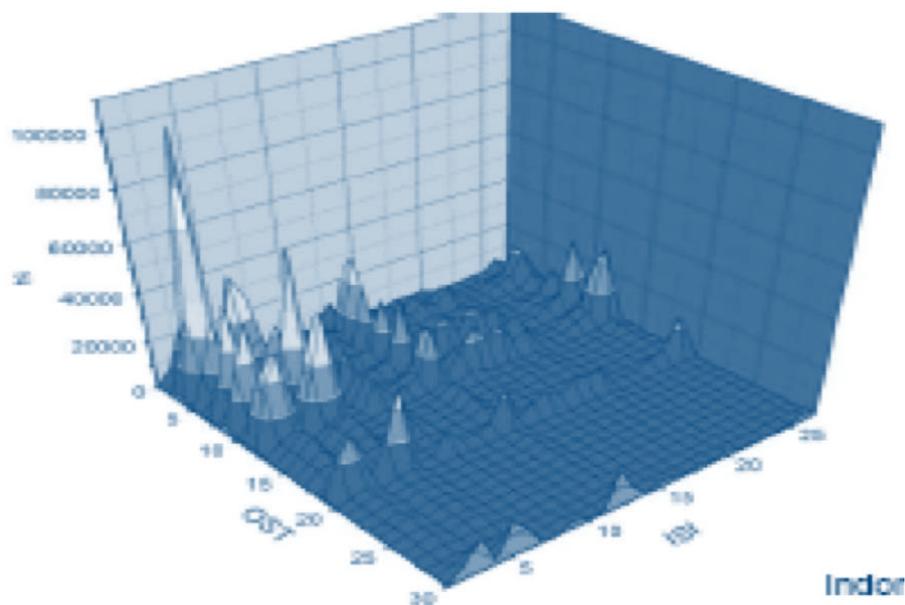


Figura 1.7: Subdomínios tecnológicos definidos pelo OST constituem o eixo x (OST Code). Áreas de ciência e de engenharia definidas pelo ISI constituem o eixo y (ISI Code). Citações provindas de outras referências, que não patentes (NPCs), de cada célula da matriz, constituem o eixo z (N). Para a identificação de cada subdomínio tecnológico do OST e de cada área de ciência e engenharia do ISI, ver tabela 1.1.

Fonte: Ribeiro *et al*, 2009.

O eixo x da figura 1.7 mostra as 30 linhas da tabela 1a: cada linha corresponde a um subdomínio tecnológico do OST. O eixo y da figura 1.7 exibe as 27 colunas da tabela 1b: cada coluna corresponde a uma área de C&E do ISI. O eixo z da figura 1.7, chamado de N – altura da célula da matriz – representa o número de citações que patentes de um específico subdomínio tecnológico do OST fazem a uma área específica de C&E. A figura 1.7 mostra o pico desta matriz, localizado na célula relacionada com o subdomínio “tecnologia da informação” (linha 4) do OST, e à área “engenharia eletrônica” (coluna 3) de C&E, como exibido na tabela 1.1.

Como mencionado na introdução, a primeira contribuição original deste estudo é a construção dessas matrizes de interações de ciência e tecnologia para todos os países, desenvolvidos e não desenvolvidos. Este esforço permite a seleção de três países que ilustram como tais matrizes podem ser úteis para comparações entre diferentes níveis de desenvolvimento. A figura 1.8 justapõe a matriz para os Estados Unidos (a mesma apresentada de forma detalhada na figura 1.7) com matrizes de 2006 para o Brasil e para a Indonésia (cada um desses países representa um nível diferente de desenvolvimento). Estes três países foram selecionados devido ao fato de que, em um trabalho anterior de Ribeiro *et al* (2006), eles foram classificados em três diferentes “regimes de interação entre ciência e tecnologia”.

Figura 1.8 - Matrizes de interações entre ciência e tecnologia para os Estados Unidos, Brasil e Indonésia no ano de 2006

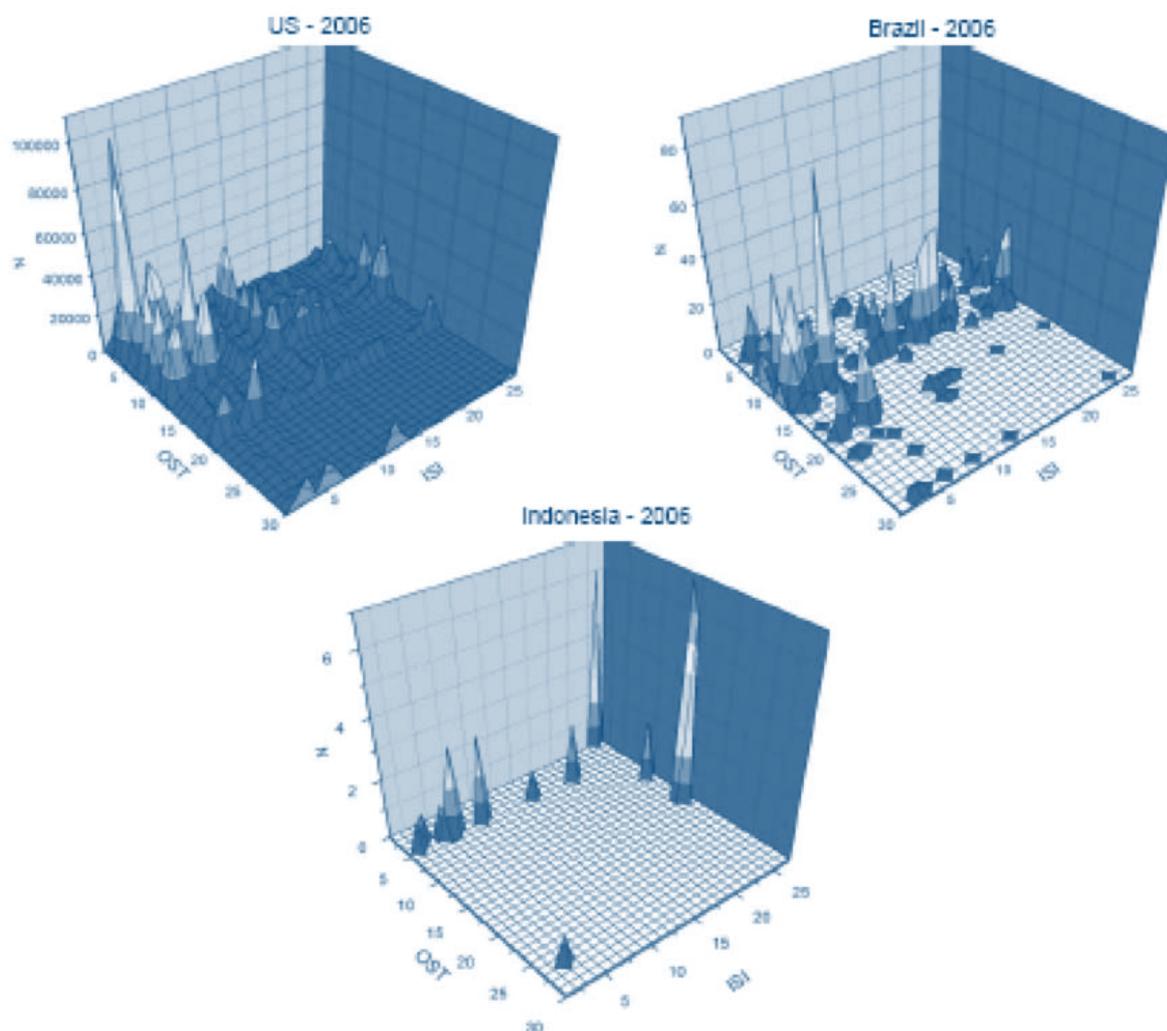


Figura 1.8: Subdomínios tecnológicos definidos pelo OST constituem o eixo x (OST). Áreas de ciência e de engenharia definidas pelo ISI constituem o eixo y (ISI). Citações providas de outras referências, que não patentes (NPCs), de cada célula da matriz, constituem o eixo z (N). Para a identificação de cada subdomínio tecnológico do OST e cada área de ciência e engenharia do ISI, ver tabela 1.1.

Fonte: Ribeiro *et al*, 2009.

Esta justaposição mostra como estas três matrizes se diferenciam em termos do preenchimento de suas células (ver células nos eixos x e y), e no que se refere à altura das colunas (eixo z). A distribuição e a intensidade das interações entre as áreas da ciência e da engenharia e os domínios tecnológicos apresentados por estas matrizes oferecem informações qualitativas que complementam e enriquecem as informações quantitativas provenientes de estatísticas tradicionais de patentes. A figura 1.8 revela que as diferenças entre os Estados Unidos, o Brasil e a Indonésia não são limitadas pelas quantidades de suas patentes, mas também se referem à qualidade delas.

A figura 1.8 indica ainda como tais matrizes podem ser poderosos indicadores de diferentes níveis de desenvolvimento. A mesma figura indica como diferentes níveis de desenvolvimento são correlacionados com a natureza, quantidade e qualidade de suas interações entre ciência e tecnologia.

1.4.2. O Crescente Conteúdo Científico da Tecnologia

Quatro fenômenos inter-relacionados podem elucidar diferenças entre as matrizes de vários países e a evolução temporal das mesmas.

Primeiramente, existe um crescimento constante de patentes no USPTO (59.669 patentes concedidas globalmente em 1974 e 169.332 em 2006).

Em segundo lugar, observa-se um crescimento do número de patentes com citações à literatura de C&E, utilizadas como uma *proxy* da crescente interação entre ciência e tecnologia ao longo do tempo: as patentes que citam C&E representavam 7,6% do total em 1974 e 44% em 2006. Além disso, há um crescimento persistente do número de citações por patentes que passou de 0,11 em 1974 para 4,85 em 2006. Esta constatação é uma outra maneira de se demonstrar a crescente importância da ciência e da informação técnica para a tecnologia.

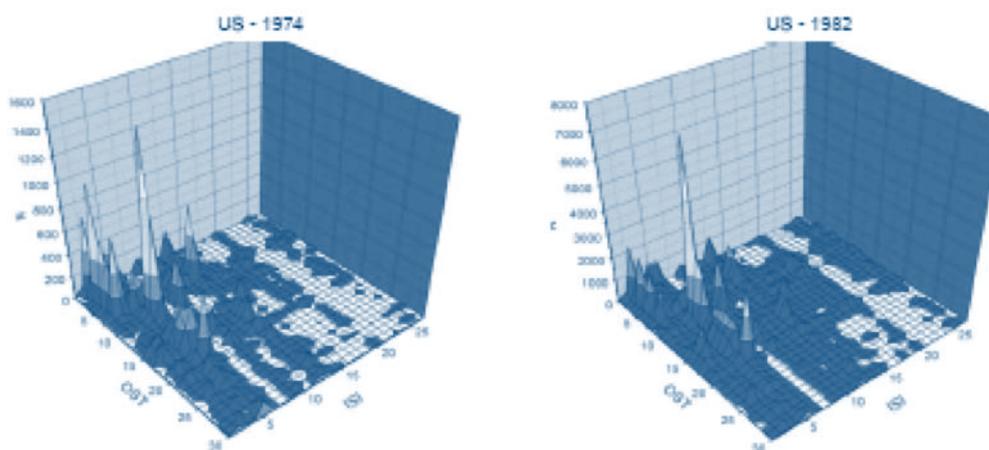
Em terceiro lugar, no cenário global, cresce ao longo do tempo o número de países com patentes no USPTO (64 em 1974 e 100 em 2006) e também o número dos países com patentes que citam a literatura de C&E (de 37 países em 1974 para 83 países em 2006).

Por último, comparações entre matrizes globais mostram significantes transformações tecnológicas entre 1974 e 2006. Uma mudança constatada foi a crescente importância de tecnologias relacionadas ao novo paradigma da tecnologia da informação e da comunicação (*Technology of Information and Communication - TIC*)⁴. Outra mudança foi o aumento constante de domínios tecnológicos relacionados à área da saúde, entre 1974 e 2006⁵. No que se refere às áreas com citações em C&E, observou-se uma interessante tendência: o aumento de áreas de C&E relacionadas à saúde⁶.

De acordo com a base de dados utilizada, foram preparadas matrizes para todos os países e anos; um procedimento que permite realizar comparações intertemporais. Esta seção seleciona dois países para uma análise mais detalhada: Estados Unidos, que é líder nesta fase do capitalismo, e Brasil, que representa um sistema de inovação imaturo. As matrizes para os anos de 1974, 1990 e 2006 ilustram a dinâmica que envolve a evolução das interações entre ciência e tecnologia ao longo do tempo.

A figura 1.9 mostra as matrizes para os Estados Unidos nos anos de 1974, 1990 e 2006.

Figura 1.9 - Matrizes de interações entre ciência e tecnologia para os Estados Unidos nos anos de 1974, 1990 e 2006



⁴Em 1974, "tecnologia de informação" ocupava a 23ª posição, "telecomunicações" a 13ª, "semicondutores" a 25ª e "audiovisual" a 21ª. Em 2006 esses domínios tecnológicos deram um salto para a 1ª, 2ª, 5ª e 8ª posição, respectivamente

⁵ Entre 1974 e 2006, a "biotecnologia" subiu da última posição (30ª) para a 23ª; "farmacêuticos" passou da 29ª para a 20ª; e "engenharia médica" da 22ª para a 17ª posição.

⁶ "Pesquisa em medicina" ocupou a 18ª posição em 1974 e subiu para a 6ª posição em 2006; "imunologia" saltou da 22ª para a 11ª; "biotecnologia" da 17ª para a 9ª posição; e "biologia geral" da 14ª para 10ª.

Figura 1.9 - Matrizes de interações entre ciência e tecnologia para os Estados Unidos nos anos de 1974, 1990 e 2006

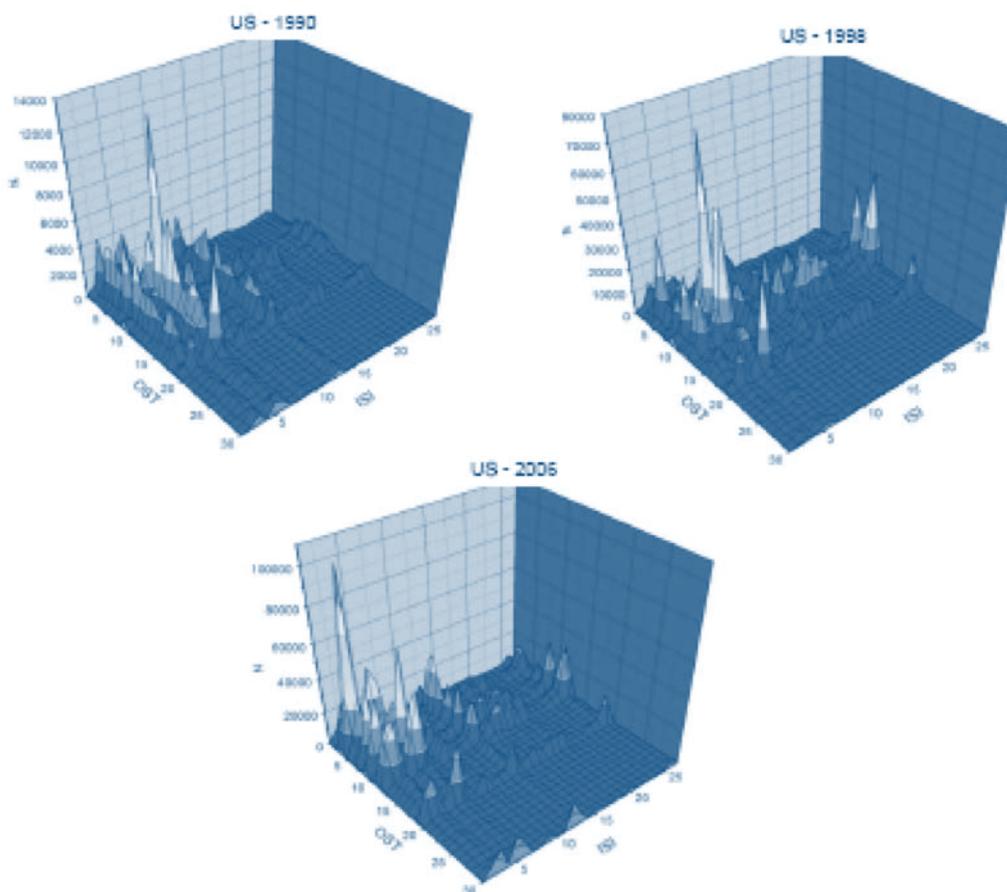


Figura 1.9: Subdomínios tecnológicos definidos pelo OST constituem o eixo x (OST). Áreas de ciência e de engenharia definidas pelo ISI constituem o eixo y (ISI). Citações provindas de outras referências, que não patentes (NPCs), de cada célula da matriz, constituem o eixo z (N). Para a identificação de cada subdomínio tecnológico do OST e cada área de ciência e engenharia do ISI, ver tabela 1.1.

Fonte: Ribeiro et al, 2009.

A figura 1.9 mostra que as matrizes são preenchidas ao longo do tempo. A matriz de 1974 apresenta diversas células vazias. Um exemplo de região com células vazias é o da disciplina "químico-física" (código 8) do ISI. Outro exemplo são as disciplinas relacionadas com a área da saúde (disciplina do ISI com códigos superiores a 15). Ao longo do tempo, os pontos de interação se expandiram de tal forma que o número de células vazias diminuiu e, em 2006, a matriz americana foi quase totalmente preenchida. De fato, as disciplinas do ISI que lideraram o processo de preenchimento das matrizes são as disciplinas relacionadas com a área da saúde.

Além disso, observa-se ao longo do tempo um crescimento contínuo do número de citações da literatura de C&E. Isso pode ser observado no eixo z, que se refere à altura das colunas da matriz: em 1974, o pico foi de aproximadamente 1.200 citações, enquanto que em 2006 este pico ultrapassou 100.000 citações.

Vale destacar que há mudanças na estrutura da matriz: ela se tornou mais preenchida, seus picos se diferenciaram e mudaram de posição. Como exemplo, em 1974 os quatro maiores picos estavam relacionados com as áreas: "produtos químicos orgânicos" (OST) / "engenharia e química inorgânica" (ISI); "telecomunicações" (OST) / "engenharia eletrônica" (ISI); "química macromolecular" (ISI) / "engenharia e química inorgânica" (ISI); e "análises, medições e controle" (OST) / "engenharia eletrônica" (ISI). Em 2006, o pico mais alto e o ranking dos quatro primeiros picos mudaram: o novo pico mais alto foi observado na célula "tecnologia da informação" (OST) / "engenharia eletrônica" (ISI); a segunda posição manteve-se inalterada ("telecomunicações" (OST) / "engenharia eletrônica" (ISI)); o pico que liderava foi para a terceira posição ("produtos químicos orgânicos" (OST) / "engenharia e química inorgânica" (ISI)); e houve, na quarta posição, a entrada de um novo domínio tecnológico relacionado à área da saúde ("biotecnologia" (OST) / "engenharia e química inorgânica" (ISI)).

A figura 1.10 mostra as matrizes para o Brasil nos anos de 1974, 1990 e 2006.

Figura 1.10 - Matrizes de interações entre ciência e tecnologia para o Brasil no anos de 1974, 1990 e 2006

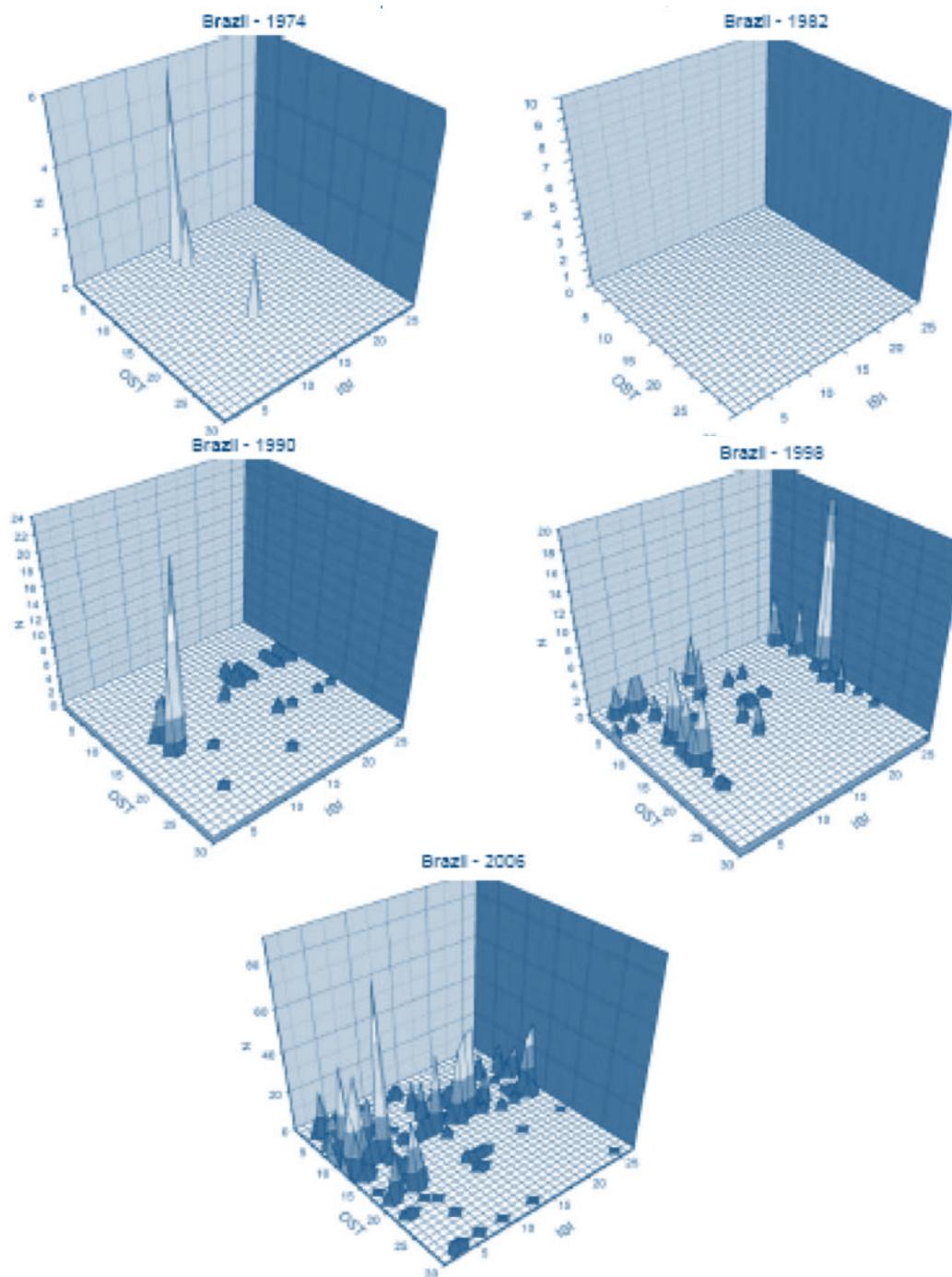


Figura 1.10: Subdomínios tecnológicos definidos pela OST constituem o eixo x (OST). Áreas de ciência e engenharia definidas pelo ISI constituem o eixo y (ISI). Citações providas de outras referências, que não patentes (NPR), de cada célula da matriz, constituem o eixo z. Para a identificação de cada subdomínio tecnológico do OST e cada área de ciência e engenharia do ISI, ver tabela 1.1.

Fonte: Ribeiro et al, 2009.

A figura 1.10 mostra, primeiramente, um processo de crescente preenchimento da matriz. No entanto, este é um processo inconstante (não havia nenhuma patente com citações da literatura de C&E em 1982) e incompleto (vale a pena observar a quantidade elevada de células vazias na matriz de 2006).

Há também importantes diferenças intertemporais entre as células, que expressam pontos de interação entre ciência e tecnologia. As células preenchidas em 1974 não se repetiram em 1990 e os picos deste último ano não foram os mesmos em 2006. A consistência intertemporal não foi muito elevada no que se refere aos pontos de interação identificados, uma vez que houve uma oscilação intertemporal dos pontos de interação.

⁷ Observe que as matrizes de 1974 e 1982 são bastante parecidas o que leva a uma alta correlação.

1.4.3. Matrizes e suas Implicações para o Desenvolvimento

A seção anterior analisou a dinâmica e a estrutura das matrizes. A superfície definida pela matriz é a base dos indicadores aqui apresentados e sintetiza as diversas características previamente discutidas. Para uma comparação das superfícies de diferentes matrizes ou, em outras palavras, do estágio de desenvolvimento da interação entre ciência e tecnologia, utiliza-se o coeficiente de correlação entre matrizes.

Quando as superfícies de duas matrizes, de dois períodos distintos, forem idênticas, a correlação será equivalente a 1. Dessa forma, quanto mais próximo de 1 for esse indicador, mais parecidas são suas superfícies, ou seja, mais parecidos serão os níveis de preenchimento das matrizes, a altura das células e a localização de seus picos.

A tabela 1.3 apresenta os resultados da correlação das matrizes de um mesmo país quando comparadas em diferentes períodos.

Tabela 1.3 - Correlação intertemporal de matrizes

	1974 - 1982	1982 - 1990	1990 - 1998	1998 - 2006	1972 - 2006
WORLD	0,93	0,91	0,87	0,83	0,60
UNITED STATES	0,91	0,88	0,85	0,79	0,61
JAPAN	0,90	0,88	0,88	0,87	0,69
GERMANY	0,80	0,93	0,94	0,83	0,57
SOUTH KOREA	0,00	0,00	0,59	0,82	0,00
SWEDEN	0,40	0,34	0,56	0,73	0,36
NETHERLAND	0,44	0,57	0,59	0,66	0,30
TAIWAN	0,00	0,25	0,29	0,81	0,00
INDIA	0,00	0,06	0,45	0,51	0,01
CHINA	0,00	0,00	0,10	0,09	0,00
BRAZIL	0,00	0,00	0,27	0,27	0,03
SOUTH AFRICA	-0,01	0,02	0,12	0,16	-0,01
MEXICO	0,00	-0,01	0,18	-0,02	0,00
INDONESIA	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00

Fonte: Ribeiro *et al*, 2009.

Dois exemplos serão utilizados para o melhor entendimento deste indicador. A figura 1.9 (matrizes dos Estados Unidos) ajuda a identificar o porquê da correlação intertemporal entre 1974 e 1982 (primeira coluna da tabela 1.3) ser tão alta (0,91) ⁷. Observe a figura 1.10 com as matrizes brasileiras: os dados mostram que, em 1982, não havia na matriz sequer um ponto de interação, mas somente células vazias. Dessa forma, a correlação entre 1982 e 1990 é zero, como mostrado na segunda coluna da tabela 3. A correlação intertemporal das matrizes para o caso brasileiro (sempre abaixo de 0,30), indica uma grande movimentação dos pontos de interação.

No que diz respeito à correlação entre as superfícies das matrizes em 1974 e em 2006, a tabela 1.3 divide esses 13 países em dois grandes grupos: um primeiro grupo, o qual apresenta uma correlação maior que 0,30 (Estados Unidos, Japão, Alemanha, Suécia e Holanda), e um segundo, com uma correlação menor que 0,30 (os outros países).

O primeiro grupo pode ser dividido em dois subgrupos. O primeiro subgrupo abrange os Estados Unidos, o Japão e a Alemanha, dada suas altas correlações intertemporais (superiores a 0,79) em todos os períodos e também sua alta correlação entre 1974 e 2006 (superiores a 0,57). Estes três países se assemelham em termos de tamanho. O outro subgrupo engloba a Suécia e a Holanda, os quais também apresentam altas correlações (sempre maiores que 0,34) nos subperíodos.

⁸ Neste caso, a correlação entre as matrizes da China e dos Estados Unidos para o ano de 2006 é relevante pois, neste ano, foi muito elevada, 0,75.

O segundo grupo é mais diversificado e pode ser dividido em diversos subgrupos. A Coreia do Sul e o Taiwan apresentam padrões similares, pois estes países alcançaram uma alta correlação intertemporal após 1990. A análise dos indicadores da Coreia do Sul demonstra que, após 1990, existe uma persistência de pontos de interação: este fenômeno é demonstrado pelas correlações intertemporais iguais a 0,59, entre 1990 e 1998, e 0,82, entre 1998 e 2006.

O Brasil e a África do Sul apresentam um comportamento similar, uma vez que suas correlações cresceram ao longo do período, embora continuassem menores que 0,30 entre 1998 e 2006. Estes países apresentaram, nesses anos, uma correlação de 0,27 de 0,16, respectivamente.

O México (o qual, de acordo com Ribeiro *et al*, 2006, faz parte do grupo do Brasil e da África do Sul, dentro do Regime II) teve uma correlação expressiva, de 0,18, apenas entre 1990 e 1998. Em todos os outros períodos sua correlação foi zero ou negativa. O padrão atingido pelo México se aproxima daquele da Indonésia, a qual faz parte de um regime diferente, o Regime I, de acordo com Ribeiro *et al* (2006).

A Índia e a China apresentam diferentes correlações intertemporais entre 1998 e 2006: a Índia apresentou uma correlação de 0,51 e a China de apenas 0,09. É notável o fato da Índia ter tido uma correlação intertemporal igual a 0,45 entre 1990 e 1998, sugerindo a persistência nesses pontos de interação.

A China merece uma atenção especial. Nesse caso específico, mudanças de tamanho e velocidade têm uma importância maior. No que se refere ao tamanho, embora o número de patentes chinesas tenha aumentado nove vezes entre 1998 e 2006, o país ainda apresenta um baixo percentual de patentes por habitante (essa taxa coloca a China no Regime II, junto com o Brasil, o México, a África do Sul e a Índia). Em termos de velocidade, as mudanças são rápidas devido a quase três décadas de taxas de crescimento econômico altas e persistentes. Este processo pode ser caracterizado como uma evolução ainda instável e que, todavia, não alcançou um padrão estruturado de crescimento – a China ainda se encontra em uma fase de oscilações, à procura de um caminho estável. É interessante notar que a superfície da matriz de 2006 pode ser o ponto de partida para um padrão de crescimento mais estruturado ⁸.

Algumas das conclusões preliminares sobre as correlações intertemporais das matrizes merecem ser retomadas: 1) este indicador diferencia sistemas de inovação maduros e imaturos; 2) um padrão de crescimento estruturado emerge no decorrer do processo de *catching up*; 3) decréscimos temporários na correlação intertemporal podem ser positivos para países desenvolvidos, uma vez que tais quedas podem indicar uma revolução tecnológica em andamento (novos setores tecnológicos com uma nova base científica), e também para países menos desenvolvidos (*less developed countries* – LDCs), uma vez que estes decréscimos podem indicar um novo caminho de desenvolvimento, uma nova base de crescimento sustentável; 4) um padrão de crescimento não-correlacionado (típico de países que fazem parte dos Regimes I e II) pode ser um fator de bloqueio do início de uma trajetória de reforço positivo entre ciência e tecnologia.

1.4.4. O Papel da Base Científica Nacional

Um ponto importante, ressaltado pela literatura, é o peso das bases científicas nacionais nas interações identificadas através do estudo de citações da literatura científica e técnica nas patentes. Tijssen (2004, p. 704), em uma abrangente revisão dessa literatura, refere-se a Narin et al (1997) para comentar "a existência de propensões nacionais de autocitação em todos os países mais importantes – isto é, uma parte expressiva das citações, cerca de duas a quatro vezes mais do que o estatisticamente esperado, referem-se a artigos originados no mesmo país. Esse "viés nacional" em citações de patentes dessa magnitude indica a natureza localizada de fluxos do conhecimento, sugerindo relativamente fortes interações entre o progresso científico e tecnológico, assim como efeitos cumulativos na criação e disseminação de conhecimento em sistemas regionais ou nacionais de inovação e P&D".

Essa tendência também é discutida nos *Science and Engineering Indicators*: "[...] comparando as parcelas da literatura citada (nas patentes) dos Estados Unidos, da Europa Ocidental e da Ásia, ajustadas pelas suas respectivas participações na literatura científica, encontra-se que os inventores favorecem o seu país ou região [...]" (NSB, 2002, p. 5-54).

Esses achados têm importantes implicações para processos de desenvolvimento, na medida que explicita tanto o crescente peso da ciência para o progresso tecnológico, como o papel das bases científicas nacionais para as interações entre ciência e tecnologia.

1.4.5. Em Busca de um Padrão de Crescimento Estruturado

As correlações intertemporais entre as superfícies das matrizes são a base para a identificação de padrões de crescimento estruturado, o que representa a principal diferença entre países do regime III (SNI maduros) e os outros (SNI imaturos).

Apresentadas as conclusões, é importante observar algumas implicações no desenvolvimento dos países, em uma era na qual a ciência, a tecnologia e suas ligações apresentam considerável relevância:

a) As interconexões entre ciência e tecnologia podem indicar quais das áreas de C&E deveriam ser sustentadas por políticas industriais específicas, e quais deveriam fornecer aos formuladores de políticas públicas uma ferramenta para o desenvolvimento de políticas industriais que levem em conta as interações entre ciência e tecnologia como um fator-chave ao desenvolvimento;

b) A importância da persistência ao longo do tempo deve ser enfatizada uma vez que se faz necessário um planejamento de longo prazo por parte de empresas e agências públicas. Estas instituições devem desenvolver políticas para mitigar a alta taxa de mortalidade de novas firmas, firmas essas necessárias para mudar o cenário tecnológico dos países em desenvolvimento;

c) Uma ampla infraestrutura de ciência e tecnologia é necessária para o desenvolvimento, e essa necessidade também cresce ao longo do tempo. Para se atingir o estágio de *catching up*, um país deve melhorar sua capacidade de inovação. Ao longo do tempo, o conteúdo científico de tecnologia tem crescido. Portanto, inter alia, uma melhor e mais profunda infraestrutura científica é necessária para apoiar essas atividades inovativas. Este processo parece ser inevitável, além de demandar maiores investimentos em ciência em LDCs do que foi investido até então;

d) Novos argumentos que ressaltam a necessidade da combinação entre políticas industriais e ciência e tecnologia merecem destaque. A evidência apresentada neste tópico sugere que, para um crescimento quantitativo do número de patentes, uma pré-condição é um aumento correspondente em publicações de ciência e de engenharia. Nenhum incremento quantitativo em termos de número de patentes é possível sem que haja uma melhoria qualitativa nas patentes geradas; ou seja, em seu conteúdo de ciência e engenharia. Portanto, existe, ao longo do tempo, dinamicamente, uma profunda relação entre a quantidade de patentes e a qualidade das mesmas.

Em suma, esta seção discute e demonstra um fenômeno mais geral na economia contemporânea que é o crescente peso da ciência para a tecnologia. Dessa forma, poderíamos afirmar que as indústrias, em geral, estão cada vez mais "baseadas na ciência". O que apenas amplia a importância desta NTS.

2. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS NO BRASIL E NO MUNDO

Os setores escolhidos para serem avaliados nesta NTS são quatro: nanotecnologia, biotecnologia, novas fontes de energia (com ênfase em energia solar) e aeroespacial (incluindo defesa). São setores que compartilham a característica básica definidora desta NTS – são "baseados na ciência". Além disso, esses sub-sistemas têm em comum pelo menos cinco características: 1) a forte relação com a infraestrutura científica; 2) a possibilidade de existência de "janelas de oportunidade" para a entrada do Brasil nesses setores; 3) todas têm trajetórias tecnológicas que podem encontrar pontos de partida em setores/indústrias com tradição no país⁹ e 4) a importância desses setores para uma renovação da base tecnológica do Brasil, condição essencial para um processo bem-sucedido de *catching up*; 5) a existência de uma acumulação científica nacional inicial (em universidades e institutos de pesquisa), nos quatro setores desta NTS, já capaz de ser um ator no processo de entrada da indústria do país nessas áreas.

Mas, também têm algumas diferenças importantes entre si. Quais as diferenças mais importantes?

Em primeiro lugar, há diferenças em relação à maturidade tecnológica do setor. O setor aeroespacial-defesa é certamente o mais consolidado dos quatro, com características já bastante definidas e com trajetórias tecnológicas razoavelmente conhecidas. Por outro lado, biotecnologia, nanotecnologia e novas fontes de energia (em especial energia solar, que será a o foco desta NTS) são tecnologias emergentes. Poderiam ser chamadas de "novas indústrias baseadas na ciência", uma forma de diferenciá-las dos setores discutidos por Pavitt e dos atualmente já estabelecidos (farmacêutica, TICs, a própria aeroespacial). Entre elas, é possível inclusive identificar um gradiente em termos do seu desenvolvimento. Possivelmente, biotecnologia é a mais avançada das três, seguida por nanotecnologia e pela energia solar.

Em segundo lugar, há diferenças em termos da natureza dessas tecnologias. Duas delas se enquadram de forma razoavelmente adequada no rótulo de *General Purpose Technologies* (GPTs): biotecnologia e nanotecnologia. Outra delas pode se tornar um importante componente da infraestrutura tecnológica, dada a sua característica como fonte de energia: energia solar. Apenas a indústria aeroespacial-defesa teria características mais típicas de um setor industrial clássico.

Em terceiro lugar, o estágio de implantação no país dessas tecnologias também difere: apenas a indústria aeroespacial-defesa pode ser considerada como possuindo um grau inicial de implantação no país.

Finalmente, para uma definição preliminar da dinâmica de investimentos nas três "novas indústrias baseadas na ciência", o que pode ser avaliado é a existência de uma complexa articulação entre investimentos públicos e estatais (com iniciativas federais importantes de apoio a essas tecnologias emergentes); ações iniciais ou mais sistemáticas de grandes empresas planejando diversificação em direção a essas novas indústrias e/ou absorvendo empresas para renovar a base tecnológica da firma; presença de capital financeiro privado – sob a forma de *venture capital* – acompanhando o surgimento de novas empresas a partir de conhecimentos gerados em universidades e institutos de pesquisa, são porém ações que não são descoladas e/ou estão articuladas com ações de grandes empresas e outras instituições do mercado de capitais. Essa complexa articulação indica que contar com apenas um desses pilares para o desenvolvimento dessas novas indústrias é uma limitação evidente.

⁹ As tradições seriam as seguintes: a) em nanotecnologia, há toda a tradição em materiais tradicionais – desde mineração até siderurgia – que pode ser vista como um antecedente da área de novos materiais; b) em biotecnologia, há tanto a tradição da saúde (que está na origem da ciência brasileira, segundo Stepan, 1976) como a forte tradição da pesquisa agropecuária, simbolizada pelo peso da Embrapa, assim como áreas de potencial aplicação de inovações biotecnológicas como a produção de celulose, energia a partir de cana de açúcar etc; c) novas fontes de energia, em especial a energia solar, há o caráter tropical do nosso país e d) aeroespacial, há o pioneirismo de Santos Dumont e toda a tradição CTA, ITA e da própria Embraer.

2.1. Desafios e Oportunidades Associados às Mudanças Tecnológicas

A emergência de novas indústrias baseadas na ciência é a maior oportunidade aberta no período. A natureza do desafio relaciona-se com as condições necessárias para a instalação dessas novas indústrias. Em especial, no que diz respeito à base científica, que no caso do Brasil precisa ser fortalecida, em sintonia com o desenvolvimento das indústrias em questão. Esse desafio deve repercutir na forma de articulação das políticas públicas.

2.1.1. Um Contexto Especial: A Combinação da Emergência de Novos Paradigmas com um Cenário de Turbulência Sistêmica

O que interessa mais para os objetivos desta NTS é indicar uma combinação *sui generis* entre uma transição de paradigmas técnicoeconômicos, no sentido de Freeman com um cenário de turbulência sistêmica, um período de transição de hegemonia no cenário mundial, como sugere Arrighi: uma conjuntura mundial plena de desafios que podem ser transformados em oportunidades.

Freeman Et Louçã (2001) sistematizam a formulação schumpeteriana sobre as ondas longas do desenvolvimento capitalista. Embora a elaboração em torno das ondas longas seja bastante controversa, ela é útil para indicar o papel das revoluções tecnológicas na dinâmica capitalista de longo prazo e para sugerir a persistência dessas transformações tecnológicas radicais na vida econômica.

Períodos de transição tecnológica, com a emergência de novos paradigmas, são também períodos onde se abrem "janelas de oportunidade", tanto nos países avançados (para novas firmas dos setores industriais emergentes) como nos países atrasados (para firmas e para os próprios países).

A movimentação da fronteira tecnológica internacional é determinada pela sucessão de paradigmas tecnológicos (Dosi, 1984; Freeman Et Perez, 1988). Inovações radicais estabelecem as bases de constituição de um novo paradigma tecnológico (Freeman, 1994). A carga de incerteza presente no processo de definição de um novo paradigma é enorme. Estabelecido um novo paradigma, trajetórias tecnológicas serão estabelecidas, fundamentalmente a partir de inovações incrementais. O estabelecimento de um novo paradigma, portanto, cria um enorme conjunto de oportunidades tecnológicas.

É justamente quando do surgimento de novos paradigmas que se abrem "janelas de oportunidade" (Perez Et Soete, 1988) aos países atrasados. Por que surgem essas "janelas de oportunidade"? Segundo Dosi (1984, pp. 93-94), as condições de apropriabilidade das inovações variam ao longo das "fases" do paradigma. Na emergência de um novo paradigma, caracterizado por uma alta taxa de natalidade e mortalidade de "novas firmas schumpeterianas", oligopólios temporários seriam estabelecidos; enquanto nas trajetórias estabelecidas, a apropriabilidade privada é mais forte e as estruturas oligopolísticas mais estáveis. Essa variação nas condições de apropriação das inovações ao longo das fases dos paradigmas ilustra a variação nas condições de difusão das inovações (mais fácil quando a apropriação é mais fraca). Essas condições, válidas para os processos internos de um país, se repetem na arena internacional, fundamentando o aparecimento das "oportunidades" para as firmas dos países atrasados.

O desenvolvimento de tecnologias emergentes como a biotecnologia e a nanotecnologia podem ser expressões de mudanças de paradigma.

Em suma, a movimentação da fronteira tecnológica internacional apresenta dois aspectos contraditórios: em primeiro lugar, ao ampliar o hiato tecnológico entre as nações (um dos fatores determinantes do "efeito Rainha Vermelha", avaliado em seção anterior), introduz a possibilidade de catching up; em segundo lugar, dadas as mudanças nas condições de apropriabilidade que determina, abre "janelas de oportunidade" para os países retardatários.

A movimentação da fronteira internacional, decisiva para o surgimento de oportunidades aos países retardatários, apresenta um problema adicional (e decisivo) para eles: a amplitude e a qualidade do esforço interno a ser realizado também varia de forma dinâmica, crescendo à medida que os paradigmas se sucedem. Os paradigmas tecnológicos observados dinamicamente sugerem que o conteúdo científico das tecnologias tem crescido ao longo da história. Por isso, o papel das instituições de ensino e pesquisa e o conteúdo de conhecimento necessário para processos de *catching up* também têm crescido com o tempo.

Para que as “janelas de oportunidade” sejam aproveitadas é necessário um esforço interno aos países atrasados: o desenvolvimento de capacidade de absorção é o elemento determinante. E essa capacidade de absorção exige uma participação maior das instituições de ensino e pesquisa.

Arrighi (1994 e 2005) tem insistido na caracterização da conjuntura internacional como um período de turbulência sistêmica, transição de um ciclo sistêmico de acumulação para um outro. Esse período, para Arrighi, indica a transição da hegemonia de um país na economia mundial para outro país (ou região). Mais precisamente, trata-se de um período onde a hegemonia anterior esgotou-se (no caso a hegemonia dos Estados Unidos da América), implicando no fim de um controle mais firme de um país sobre a economia-mundo. Porém, no período de turbulência sistêmica atual ainda inexistente um país que possa qualificar-se como um substituto na posição hegemônica (ver em especial Arrighi, 1999).

A atual crise financeira internacional e a necessária rearticulação da arquitetura do sistema monetário internacional são sinais do fim do período de hegemonia dos Estados Unidos e da abertura de um período mais ou menos longo de estabelecimento de uma nova hegemonia, possivelmente multipolar. Trata-se de um contexto bastante singular, no interior do qual há espaços para uma reordenação mais geral na divisão internacional do trabalho, com espaços reais para países como o Brasil ocuparem.

2.1.2. A Natureza das Tecnologias Envolvidas

Como caracterizar tecnologicamente as quatro “indústrias” aqui discutidas? Como indicado na seção 1, elas poderiam se dividir em dois grupos. O primeiro, envolve biotecnologia, nanotecnologia e energia solar. O segundo é composto por aeroespacial-defesa.

2.1.2.1. General Purpose Technologies (GPTS)

Nesta NTS os sistemas produtivos baseados na ciência envolvem quatro sub-sistemas: aeroespacial-defesa, biotecnologia, nanotecnologia e energia solar. O primeiro grupo pode ser classificado como *General Purpose Technologies* (GPTS).

O que são as *General Purpose Technologies*? Helpman (1990) e Jovanovic et al (2005) são duas boas referências para o tema. Trata-se de tema de crescente importância na literatura acadêmica, que de certa forma sistematiza as intuições schumpeterianas sobre o papel das inovações radicais na dinâmica econômica de longo prazo (ver Freeman & Louçã, 2001). Helpman, por exemplo, cita os trabalhos de Freeman na introdução do livro.

Na definição de Helpman (1998, p. 3), “uma inovação drástica qualifica-se como uma GPT se ela tem um potencial de uso que perpassa uma ampla gama de setores de forma que mudem drasticamente seus modos de operação”. Na literatura citada por Helpman, GPTs teriam duas características: generalidade de propósito e complementariedade nas inovações. Finalmente, GPTs introduziriam duas externalidades: uma entre a GPT e os setores de aplicação e outra entre os setores de aplicação (p. 4).

Entre os exemplos de GPTs, Lipsey *et al* (1998) mencionam tecnologias de informação e comunicação como a escrita, a impressão, a atual revolução das TICs; diversos tipos de materiais, sistemas de energia como o motor a vapor, a eletricidade, o motor a combustão e sistemas de transporte como ferrovias e automóveis.

Por esse roteiro, é compreensível que biotecnologia, nanotecnologia e energia solar possam ser caracterizadas como GPTS.

Como será discutido nas seções 3, 4 e 5, essas três “indústrias” têm potencial para utilização em uma “ampla gama de setores”.

Biotecnologia, por exemplo, de forma alguma se limita à utilização em setores relacionados à saúde, humana e animal. Ela será utilizada em setores tão diversos como papel e celulose e produção de energia, através de cana-de-açúcar.

Nanotecnologia, por sua vez, com a sua natureza de novo material, afetará setores tão diversos como medicamentos e eletrônica, com potencial de substituição de materiais tradicionais por novos materiais resultantes de técnicas e processos nanotecnológicos. Youtie *et al* (2008) é uma boa referência para a discussão da aplicação do conceito de GPT para a nanotecnologia.

Energia solar, talvez em uma categoria um pouco diferente das duas anteriores, também pode vir a ser uma GPT, tanto pela sua natureza como fonte de energia (por si só, como visto, uma GPT potencial) como pela amplitude de sua aplicação potencial como fonte de energia (desde a geração de energia elétrica até a movimentação de carros e alimentação de utensílios diversos).

Além de sua natureza como GPTs, essas três "indústrias" têm em comum o seu estágio ainda "emergente": embora em níveis diferentes de evolução, todas as três "indústrias" ainda estão distantes de se constituírem em um paradigma consolidado. Certamente há um gradiente entre elas: a biotecnologia estaria mais avançada nesse sentido, com a nanotecnologia vindo a seguir e a energia solar ocuparia a terceira posição nessa sequência. Essa ordenação de níveis de maturidade não coincide com a idade das "indústrias". A primeira patente de uma célula fotovoltaica é de 1957 (USPTO Pat. 2780765, depositada pelo Bell Lab), enquanto o artigo que funda a biotecnologia é de 1973 (invenção da técnica do DNA recombinante por Cohen e Boyer) e a primeira patente em nanotecnologia é de 1981 (o *Scanning Tunneling Microscope*). Entretanto, tomando como um critério a definição de investimentos públicos nos Estados Unidos, a iniciativa relativa à nanotecnologia (*National Nanotechnology Initiative*) é de 2001, enquanto a relativa à energia solar (*Solar American Initiative*) é de 2006. O grande hiato entre a primeira patente de célula fotovoltaica e o primeiro programa federal para apoiar a energia solar é possivelmente consequência de um forte *lock in* institucional em torno de tecnologias baseadas em combustíveis fósseis. Apenas a crescente consciência dos impactos decorrentes de fenômenos como o aquecimento global permite que a potencialidade dessa tecnologia passe a ter peso na definição da agenda de pesquisa.

O caráter emergente dessas "indústrias" oferece para o Brasil uma enorme oportunidade, na medida em que há muito a ser definido em termos das trajetórias tecnológicas que definirão os paradigmas respectivos. Além do mais, como será discutido nas seções específicas a cada uma dessas "indústrias", o Brasil já possui investimentos científicos mínimos nessas áreas, uma contribuição importante para o potencial industrial. Embora ainda não tenhamos alcançado a massa crítica necessária para a sustentação de indústrias dessas áreas, o ponto de partida é razoável. Enfim, o caráter emergente dessas tecnologias indica ainda há tempo para a entrada de indústrias brasileiras nessas áreas.

O fracasso de iniciativas nessa linha serão certamente muito problemáticas. Há uma questão importante sobre a possibilidade de um país da dimensão do Brasil se desenvolver sem uma internalização significativa desse tipo de tecnologia (os impactos da debilidade do país na microeletrônica são suficientes para nos alertar para a necessidade de um tratamento sério do tema). A discussão aqui é relativa à decisão sobre os setores nos quais deve entrar um país que deseja se desenvolver. Certamente, setores cuja dinâmica perpassa um vasto número de indústrias e áreas da economia têm uma importância estratégica que não pode ser subestimada. Esse é o caso dos setores que a literatura trata como *general purpose technologies*.

Essa discussão sobre a natureza da biotecnologia, da nanotecnologia e da energia solar como GPTs, suscita duas outras questões importantes: 1) todas essas novas GPTs dependem fortemente das TICs; 2) por isso, possivelmente para a entrada nessas novas indústrias será necessário um fortalecimento do país nas TICs ou a realização de importantes ajustes nas tecnologias da revolução tecnológica anterior; 3) o quadro resultante é um quadro de convivência de diversos paradigmas, apesar das diferentes idades desses diversos paradigmas.

2.1.2.2. Peculiaridades da Aeroespacial e Defesa

A "indústria" aeroespacial-defesa tem um conjunto de particularidades importantes. Destaca-se o peso dos gastos em P&D do setor, e o papel do governo nesses gastos. No caso dos Estados Unidos, por exemplo, em 2007 o Departamento de Defesa foi responsável por 50% dos gastos federais de P&D (NSB, 2008, p. 4-25). Talvez esse dado seja o mais importante para discutir porque gastos com defesa podem contribuir para o aprofundamento da dinâmica tecnológica do país.

Porém, há diversos questionamentos sobre a eficiência dos gastos militares em P&D. Nelson (1959 e 1988) apresenta alguns desses questionamentos.¹⁰ Esses questionamentos quanto à eficiência dos gastos militares em P&D devem ser considerados para a definição de políticas públicas para processos de *catching up*. Aliás, um dos exemplos mais bem sucedidos de *catch up* na segunda metade do século XX, o Japão, não realizou gastos expressivos nessa área – e um dos fracassos do século XX, a URSS, realizou gastos expressivos no setor.

Desta forma, o fundamental seria o estabelecimento de prioridades de investimentos em defesa que sejam compatíveis com as prioridades tecnológicas mais gerais.

Pelo menos cinco questões preliminares poderiam orientar a definição de políticas nessa área. Em primeiro lugar, partir da caracterização de um país que se define como não agressor e que se apoia nos mecanismos internacionais de solução negociada de eventuais conflitos: trata-se de defesa *stricto sensu*. Em segundo lugar, os setores que contribuam para a vigilância do espaço nacional e provedores de efetiva e moderna capacidade de defesa (essa capacitação tem implicações importantes para o monitoramento climático e ambiental, por exemplo). Em terceiro lugar, setores/indústrias que impliquem no fortalecimento da capacidade do país em áreas de alta tecnologia (radares, sistemas de propulsão, satélites). Em quarto lugar, explorar as chamadas "tecnologias de uso dual", mas adotando como ponto de partida o seu uso civil (inúmeras tecnologias de uso na defesa, podem ter impacto em questões de saúde e bem-estar social – monitoramento de áreas de risco, por exemplo). Em quinto lugar, um conjunto de desenvolvimentos em outras áreas (farmacêutica, saúde humana) pode ser fundamental para uma efetiva política de defesa.

2.2. Desafios e Oportunidades Associados às Mudanças nos Padrões de Concorrência e Regulação

As mudanças tecnológicas acima discutidas relacionam-se com diversas características relativas a padrões de concorrência e regulação. Nesta subseção, três tópicos serão considerados, todos em geral relacionados ao papel das grandes empresas e de sua internacionalização. Esses três tópicos são importantes para avaliar o cenário no qual o desenvolvimento dessas tecnologias se processa e como uma introdução a uma discussão de políticas públicas que contribuiriam para uma efetiva entrada do Brasil nas indústrias baseadas na ciência. Em primeiro lugar, o papel das grandes empresas nas revoluções tecnológicas recentes é resenhado, tomando como referência a elaboração de Chandler. Em segundo lugar, a internacionalização dessas grandes empresas e de suas atividades inovativas é avaliada. Em terceiro lugar, uma visualização das patentes detidas por residentes e não residentes é apresentada, na medida em que essas estatísticas podem capturar o efeito nos padrões de concorrência das mudanças nas condições de apropriação que ocorreram no cenário internacional, a partir da TRIPS.

¹⁰ "... However, during the post-war period military R&D has absorbed a large share of total industrial R&D in the United States, and likely has squeezed out a certain amount of civilian R&D. Also, with few exceptions, the civilian pay-off of military R&D has been very small..... Since 1972 it is arguably the case that military R&D has cost the US considerably in terms of foregone civilian alternatives" (Nelson, 1988, p. 323)

2.2.1. O Papel das Grandes Empresas e sua Capacidade de Investimento e Diversificação

O papel das grandes empresas, e de seu papel nucleador de redes de pequenas e médias empresas, é notável na "indústria" mais madura desta NTS (aeroespacial-defesa), mas já é também bastante decisivo nas "indústrias" ainda emergentes (biotecnologia, nanotecnologia e energia solar).

Chandler (2005) tem um capítulo sobre biotecnologia (capítulo 10, "*Commercializing biotechnology*"), no qual discute o desenvolvimento do setor e explicita o padrão da "indústria", após o estabelecimento dos vínculos entre a Roche e a Genetech 1990: "*the partnership between a startup and a core pharmaceutical enterprise set the pattern for similar relationships to follow*" (p. 268).

Aliás, as recentes operações em torno da aquisição da Genetech pela Roche (*New York Times*, 12/03/2009) é algo expressivo e importante, que cobra uma reavaliação do papel das pequenas empresas na "indústria" (Abertura de uma nova fase? Explicitação de uma nova relação entre grandes empresas estabelecidas e as empresas emergentes de biotecnologia?). De certa forma fortalece a linha de argumentação apresentada e sugerida por Chandler, tanto em sua formulação mais geral (o papel das capacitações organizacionais de grandes empresas multidivisionais, 1977) como na sua mais recente discussão específica para a indústria química e farmacêutica (2005).

Em nanotecnologia, a própria origem do setor está relacionada com uma grande empresa: a invenção do STM foi realizada no laboratório da IBM, na Suíça. Desde o começo as grandes empresas importam. Na seção relativa à nanotecnologia, os nomes de grandes empresas estão presentes em diversas oportunidades (patentes, investimentos, etc).

Em energia solar, é notável também a participação de grandes empresas, em especial em estágios estratégicos da produção da célula fotovoltaica. A diversificação de grandes empresas de outros setores é um elemento decisivo para compreender a estrutura dessa indústria ainda emergente (exemplo: a BP e sua empresa de energia solar).

Essa identificação do papel de grandes empresas nessas indústrias ainda emergentes coloca um desafio adicional para países retardatários como o Brasil: a ausência de um núcleo dinâmico de grandes empresas nacionais atuantes nessas indústrias emergentes (ou realizando movimentos de diversificação em sua direção) é um problema decisivo.

Finalmente, é necessário destacar notícia sobre o comportamento de grandes empresas durante a crise, em relação aos seus investimentos em P&D. Segundo matéria do *Wall Street Journal*, publicada pelo Valor Econômico (06/04/2009, p. C4), "empresas evitam cortes em P&D de olho no fim da crise". Segundo a matéria, "[a]s empresas que mais investem em P&D alegam ter aprendido em crises econômicas anteriores que precisam investir durante os tempos mais difíceis se pretendem competir quando a economia se recuperar".

2.2.2. O Impacto da Internacionalização das Atividades de P&D

O papel das grandes empresas discutido na seção anterior tem implicações importantes no cenário internacional, especialmente através de fenômenos constitutivos da globalização como a internacionalização das atividades de P&D. Não é difícil articular a teoria da firma e a elaboração de Chandler e Penrose com as teorias da firma transnacional (Hymer, Dunning, Cantwell). A internacionalização das atividades de P&D, cujo motor são as empresas transnacionais, tem sido discutida por instituições internacionais como a UNCTAD (2005) e a OECD (2008).

Essa discussão tem pelo menos três implicações sobre esta NTS.

Em primeiro lugar, essa articulação entre a recente elaboração de Chandler (2005) e de Pisano (2006) com as elaborações da UNCTAD e da OECD constroem um quadro "realista" de dificuldades para o aproveitamento das "janelas de oportunidade" abertas nos setores discutidos nesta NTS.

Em segundo lugar, há em países como o Brasil muita expectativa com relação aos gastos de subsidiárias de transnacionais. O que é preocupante é o fato desses gastos não serem representativos na escala internacional (grosso modo o Brasil está fora do circuito de investimentos em P&D de transnacionais, que se concentra na chamada tríade e recentemente tem apresentado uma movimentação em direção à China, ver UNCTAD, 2005) mas extremamente importantes internamente.

Conforme a Tabela 2.1, preparada em tabulação especial pelo IBGE, as subsidiárias de empresas estrangeiras respondem por 40,82% do P&D empresarial do país. Os dados apresentados na Tabela 2.1 têm informações quantitativas preciosas, como o pequeno investimento em P&D das subsidiárias do setor farmacêutico. Em termos qualitativos, os gastos realizados pela indústria automobilística merecem uma discussão, na medida em que o grosso dos investimentos em pesquisa e design são realizados nas sedes, ficando em geral apenas adaptações e outros aspectos para as subsidiárias.

Tabela 2.1 - Gastos em P&D de empresas nacionais e estrangeiras, por classe CNAE (valores em reais).

CAPITAL X CNAE	PD interno		PD externo		PD interno		PD externo	
	Empresa	Valor	Empresa	Valor	Empresa	Valor	Empresa	Valor
	Nacional				Estrangeiro			
Total	5537	6698048	1957	547843	631	3689442	232	1308781
Indústrias Extrativas	16	77130	13	11767	1	x	1	x
Indústria de Transformação	4467	3877494	1048	388148	561	3157859	166	555922
Produtos alimentícios e bebidas	400	187929	166	13067	49	105621	15	6551
Produtos de fumo			5	1612	5	20792	1	x
Produtos têxteis	154	53568	8	2296	10	2033	3	781
Confeção de artigos do vestuário e aces.	67	27936	13	1269	2	x		
Prep. de couros e artefatos de couro	88	66373	20	6672	2	x		
Produtos de madeira	34	19785	7	644				
Celulose, papel e produtos de papel	41	61390	11	3102	13	23975	5	3531
Edição, impressão e reprodução de grav.	81	8058	11	570	4	10711	2	x
Coque, refino de petróleo, etcl	22	944785	16	133157	8	5138	4	1156
Produtos químicos	826	453613	61	34944	137	410762	33	136415
- produtos químicos	732	362656	48	13114	115	321257	25	21881
- produtos farmacêuticos	95	90957	13	21829	22	89505	8	114535
Artigos de borracha e plástico	234	97671	96	16912	21	96902	11	2922
Produtos de minerais não-metálicos	185	83750	115	7831	11	28664	3	820
Metalurgia básica	73	107385	31	4120	17	70022	7	15405
Produtos de metal	366	56421	110	4680	24	30762	4	557
Máquinas e equipamentos	694	220852	135	10113	74	150200	14	12941
Máquinas escritório e equip.informática	49	54753	64	21997	11	98628	5	13066
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	305	145657	31	5568	58	249181	12	11763
Material eletrônico e equip. de comunic.	150	134045	28	28736	31	277307	16	157228
Equip. instr. méd.-hospital., instr. precisão	293	149854	33	5757	26	20477	2	x
Fabricação de montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias	135	173233	33	21654	54	1519320	22	185844
Outros equipamentos de transporte	71	750091	31	58838	3	24079	1	x
Móveis e indústrias diversas	200	80345	22	4609	3	6558	6	4518
Reciclagem								
Serviços	1054	2743424	897	147928	68	531138	66	752759
Telecomunicações	55	41182	44	66376	10	406256	17	715308
Atividades de informática e serviços relacionados	962	527011	837	75194	52	93045	46	37435
Consultoria em <i>software</i>	548	356036	336	33669	35	74826	16	4558
Outras atividades de informática e serviços relacionados	414	170975	501	41525	18	18219	30	32877
Pesquisa e desenvolvimento	36	2175231	16	6358	5	31837	2	x

Fonte: IBGE-PINTEC, tabulação especial

Em terceiro lugar, a internacionalização das atividades de P&D inclui atividades de monitoramento de empresas pioneiras e promissoras em países atrasados, nos quais fusões ou aquisições podem ser estratégias de estabelecimento de P&D em um determinado país (OECD, 2008, p. 41). Os desafios não são pequenos e acontecimentos como as aquisições de empresas brasileiras como Akwan, Allelix e Biobrás, todas elas casos de sucesso de investimentos públicos no setor científico que geraram empresas, devem ser tratadas no interior desse quadro conceitual.

Finalmente, cabe uma observação sobre o que é um dos principais "atratores" de atividades de P&D de transnacionais: segundo a OECD, entre as mais importantes razões para direcionar atividades de pesquisa para uma localização específica é "*proximity to local universities and research parks*" (p. 41).

2.2.3. Questões sobre um Padrão de Financiamento das IBCS

Um dos fatores críticos na definição de padrões de concorrência é a disponibilidade de capital. Afinal, desde o texto clássico de Bain, sabe-se que uma das barreiras à entrada é a necessidade de capital.

Os estudos sobre o financiamento das indústrias baseadas na ciência (talvez as tecnologias de informação e comunicação são as mais avaliadas) indicam algumas características básicas que podem introduzir essa discussão:

- Há um padrão relativamente comum, que nos países avançados envolve diversos atores (investimentos públicos, P&D industrial e apoio a novas empresas): é importante pensar na articulação entre esses componentes
- Gastos públicos federais (o exemplo vem das políticas que desenvolveram as TICs, segundo Fabrizio & Mowery, 2007): apoio para P&D, política de compras governamentais, infraestrutura para P&D em universidades e institutos de pesquisa.
- Envolvimento de empresas estabelecidas com movimento de diversificação em direção a essas tecnologias emergentes
- Utilização dos recursos de mercados de capitais, com o desenvolvimento crescente do *venture capital* (VC).

É necessário discutir e qualificar o papel do *venture capital*. Por que discuti-la aqui? Primeiro, porque se trata de uma instituição originária dos Estados Unidos, que deve ser discutida associada tanto às características singulares do seu sistema financeiro como da força da infraestrutura científica, fortemente apoiada pelo dinheiro público. A replicabilidade dessa instituição pode não ser tão simples, como algumas formulações deixam transparecer. Segundo porque no Brasil, as instituições do *venture capital* sempre são citadas quando se fala em alta tecnologia, áreas portadoras de futuro, nos programas mobilizadores de áreas estratégicas (do recente PDP: que cita inúmeras vezes o capital de risco como um mecanismo de financiamento – saúde, TICs, biotecnologia). A dúvida é sobre a capacidade desta instituição financeira, em relação às condições do mercado de capitais do Brasil, se ela é capaz de responder ao que dela é esperado.

É necessário entender a articulação entre o VC e a estrutura financeira nos Estados Unidos (ver Costa, 2008). Costa sugere três pilares para a compreensão da especificidade do *venture capital*, que sustentam essa indústria: o desenvolvimento econômico alcançado após a Segunda Grande Guerra, o sistema financeiro amplo, com um mercado de capitais bastante desenvolvido, e o sistema nacional de inovação. Como é conhecido, o valor de mercado das empresas listadas em Bolsa nos Estados Unidos alcança valores superiores ao PIB do país (US\$ 15 trilhões), mesmo após a crise. Se essa dimensão é uma *proxy* do mercado financeiro nos Estados Unidos, a destinação de cerca de US\$ 41 bilhões para investimentos em *venture capital* em 2001, ano de pico nesse tipo de investimento é razoável. Nesse caso, para uma discussão sobre o *venture capital* tanto a dimensão do mercado financeiro como a sofisticação da divisão de trabalho interna ao setor devem ser levadas em conta.

2.2.4. Patentes de Residentes e de Não-residentes: Bloqueios à Atividade Tecnológica em Áreas Estratégicas?

Outra forma para identificar a nossa debilidade relativa nos setores baseados na ciência está apresentada na Tabela 2.2, que contrasta as patentes de residentes e as patentes de não-residentes depositadas no INPI, entre 2000 e 2005.

A Tabela 2.2, construída a partir da justaposição das patentes de residentes e de não-residentes depositadas no INPI (ATENÇÃO, o escritório brasileiro de patentes) por subdomínios tecnológicos do OST, depositadas entre 2000 e 2005. A lógica da Tabela 2.2 pode ser a da compreensão tanto da capacitação tecnológica interna como de áreas sob forte domínio e proteção de não residentes.

A organização da Tabela 2.2 permite a visualização, por subdomínio tecnológico das áreas nas quais as patentes de não residentes predominam e as áreas nas quais as patentes de residentes são expressivas. A ordenação da tabela é realizada de acordo com a participação percentual das patentes de não residentes em relação às patentes de residentes depositadas no INPI.

Os subdomínios tecnológicos nos quais os residentes têm maior expressão vis-à-vis os não residentes são os seguintes: no subdomínio "consumo das famílias" os residentes detêm 74,18% das patentes, seguido de "aparelhos agrícolas e alimentares" (com 68,28%), "construção civil" (63,22%), "procedimentos térmicos" (57,13%) e "manutenção e gráfica" (52,59%). Em todos os outros subdomínios tecnológicos os não residentes detêm mais de 50% das patentes.

Tabela 2.2 - Participação relativa de patentes de residentes e não residentes depositadas no inpi, de acordo com os domínios tecnológicos do ost (2000-2005)

	Subdomínio Tecnológico	Porcentagem Não Residentes	Porcentagem Residentes
Forte Vantagem de não-residentes	Química Orgânica	97,71	2,29
	Farmacêuticos-Cosméticos	93,73	6,27
	Química Macromolecular	92,6	7,4
	Biotecnologia	91,08	8,92
	Química de Base	87,4	12,6
	Telecomunicações	87,03	12,97
	Semicondutores	84,58	15,42
	Informática	84,54	15,46
	Tratamento de Superfícies	84,17	15,83
	Materiais-Metalurgia	79,76	20,24
	Ótica	78,06	21,94
	Procedimentos Técnicos	75,89	24,11
	Trabalho com Materiais	75,55	24,45
	Produtos Agrícolas e Alimentares	74,69	25,31
	Sem correspondente OST	74,44	25,56
	Máquinas-Ferramentas	67,97	32,03
	Motores-Bombas-Turbinas	66,92	33,08
	Engenharia Médica	65,65	34,35
	Componentes Mecânicos	63,83	36,17
	Técnicas Nucleares	62,32	37,68
	Audiovisual	61,68	38,32
	Componentes Elétricos	59,39	40,61
	Espacial-Armamentos	56,04	43,96
	Análise-Mensuração-Control	53,92	46,08
Transportes	53,01	46,99	
Meio Ambiente-poliuição	51,81	48,19	
Vantagem Residentes	Manutenção-Gráfica	47,41	52,59
	Procedimentos Térmicos	42,87	57,13
	Construção Civil	36,78	63,22
	Aparelhos Agrícolas e Alimentares	31,72	68,28
	Consumo das Famílias	25,82	74,18
	Total	66,14	33,86

Fonte: INPI (Albuquerque *et al*, 2008)

Há nove subdomínios tecnológicos nos quais os não residentes possuem expressiva vantagem (com mais de 80% das patentes). Dentre esses nove subdomínios, apenas dois ("química de base" e "tratamento de superfícies") não estão diretamente relacionados a tecnologias emergentes (TICs e saúde). Dentre os outros sete subdomínios líderes, quatro são relacionados à saúde ("química orgânica", "farmacêutica-cosméticos", "química macromolecular" e "biotecnologia") e três relacionados às TICs ("telecomunicações", "semicondutores" e "informática").¹¹

¹¹ Essa forma de apresentação das estatísticas em relação às TICs talvez indique uma outra razão para a posição de "informática" e "semicondutores" em termos absolutos: basta um número relativamente baixo de patentes para assegurar o controle de segmentos importantes desses setores.

Esse contraste é preocupante, também, porque a patente legalmente significa um monopólio (temporário) sobre uma determinada inovação. Como foi discutido, o contexto internacional atual é de fortalecimento da proteção à propriedade intelectual. Por isso, o forte predomínio de patentes de não residentes em áreas diretamente associadas a tecnologias de ponta no momento (TICs) e tecnologias emergentes (biotecnologia, medicamentos, química macromolecular) pode vir a ser um problema (e/ou um custo oneroso) para a entrada do Brasil em áreas decisivas.

Essa combinação de debilidades tecnológicas internas com bloqueios importantes em áreas tecnológicas líderes e/ou emergentes pode contribuir para a permanência do Brasil nas áreas onde está atualmente, com a conseqüente persistência do quadro de "estagnação relativa" identificada no fenômeno da Rainha Vermelha.

2.3. Desafios e Oportunidades Associados às Mudanças nos Padrões de Demanda Mundial e Nacional

A crise internacional atual é plena de desafios e de oportunidades. Entre as oportunidades, está a possibilidade do país buscar uma melhor posição na divisão internacional do trabalho, buscando a entrada em novas indústrias. As fontes dessa possibilidade foram sintetizadas na seção 2.1.

A crise atual tem impacto sobre características da demanda mundial e da demanda nacional. Em termos da demanda mundial, a situação dos países mais avançados, a começar pelos Estados Unidos, tem impacto sobre a estrutura de nossas exportações, que deve ser modificada em direção a uma maior sofisticação (ver seção 1). A cadeia causal para uma mudança na estrutura de nossas exportações parte da necessidade de avanços na diversificação das exportações, que depende de uma ampliação da diversificação da estrutura produtiva, que por sua vez depende de capacitações em indústrias baseadas na ciência.

Em termos mais estruturais, há uma enorme demanda mundial potencial em diversas indústrias discutidas nessa NTS. O exemplo mais claro é a demanda por energias limpas, no qual se enquadram as tecnologias relacionadas a energia solar. As prioridades que o governo Obama está indicando nessa linha são um exemplo de uma mudança importante. De qualquer forma, é razoável supor uma crescente demanda mundial por tecnologias capazes de se opor à dinâmica de aquecimento global.

Finalmente, em termos domésticos, mudanças na estrutura da demanda são essenciais para viabilizar o desenvolvimento em geral, que por sua vez depende da entrada nas indústrias baseadas na ciência. Esse tema, decisivo para que o Brasil saia da crise mundial em melhor posição do que a inicial, depende de políticas que reforcem o mercado interno do país. Dada a desigualdade existente no país, o espaço para o crescimento desse mercado interno é muito grande. Pressupõe, desde o ponto de vista desta NTS, a construção de um efetivo sistema de bem estar social, que parta das condições atuais do país mas tenha como meta um sistema que mitigue efetivamente a pobreza no país e ofereça condições para uma persistente mobilidade social ascendente, que tem implicações em termos da capacitação educacional, técnica e científica da população jovem do país.

Esta seção discute esses temas.

2.3.1. A Crise Atual

A crise atual tem uma dimensão abrangente, que como discutido acima (seção 2.1) é plena de desafios e oportunidades. Possivelmente a sua duração possa estar relacionada ao tempo necessário para a construção de uma nova ordem monetária internacional, com uma profunda readequação do papel de diversas moedas substituindo o papel até aqui dominante do dólar nesse sistema (Eicehngreen, 2008, pp. 225–228).

Para os fins desta NTS, esta crise merece ser observada em quatro dimensões: 1) o efeito sobre os países avançados, que podem sofrer uma certa paralisação da sua dinâmica tecnológica; 2) monitoramento da reação de firmas importantes durante a crise como preparação para o período de sua superação; 3) reações nacionais de países não-desenvolvidos e 4) a crise como oportunidade para afastamento de trajetórias tecnológicas ambientalmente problemáticas (tema para a próxima subseção).

Essas observações são fundamentais para a preparação do Brasil para passar pelo período de crise, na medida em que as reações mais comuns sugerem recuo e timidez nos investimentos em áreas estratégicas. O objetivo desta subseção é indicar quão equivocado pode ser essa postura de recuo e de timidez.

2.3.1.1. Diminuição do Ritmo dos Países Avançados

A discussão relativa ao "efeito Rainha Vermelha", na Introdução desta NTS oferece um contexto para a compreensão deste ponto: a crise nos países avançados, até aqui os países mais fortemente atingidos por ela, pode determinar uma diminuição na velocidade do avanço do limiar entre os regimes III e II. Por isso os países retardatários como o Brasil podem ter uma chance de reduzir o hiato com esse limiar. Para tanto, a manutenção de metas de crescimento é decisiva. Entretanto, como discutido nesta NTS, esse crescimento pressupõe a entrada em novas áreas, em especial as indústrias baseadas na ciência.

Um exemplo importante da mudança de clima nos Estados Unidos, é o que previsivelmente ocorre com o *venture capital*. Como Costa (2008) já salientou, o *venture capital* tem uma natureza extremamente cíclica, por isso, momentos de crise como este, de uma crise cujo epicentro está nos Estados Unidos, a restrição desses investimentos tem lugar. É o que noticia o jornal *Financial Times* (30/04/2009): "*Venture capitalists face 'broken' system*", é o título da matéria. A questão mais importante, segundo essa matéria, é o congelamento do mercado de IPOs.¹²

Ainda em relação às repercussões da crise sobre uma das indústrias discutidas nesta NTS, o *Wall Street Journal*, em notícia reproduzida no *Valor Econômico* de 30/10/2008, alertava que "falta de crédito coloca em risco o segmento de biotecnologia". Segundo a notícia, "a escassez de crédito está desequilibrando a indústria mundial de biotecnologia. Muitas pequenas empresas devem pedir concordata, cancelar testes de drogas, demitir em massa ou tentar vender-se para as empresas maiores no ano que vem. Isso provavelmente vai atrasar a chegada de muitos remédios ao mercado". Essa notícia ainda comenta a queda do valor das ações de empresas como a Amgen e a Genetech – como mencionado na seção 2.2.1, é nesse contexto que a Genetech foi adquirida pela Roche em março de 2009 (*New York Times*, 12/03/2009).

2.3.1.2. A Postura Anunciada da China

Em termos nacionais, é importante mencionar a postura anunciada pela China, segundo o *New York Times* (17/03/2009). Para o jornal, "*in downtour, China sees path to growth*". A postura da China, segundo a matéria, indicava que "*[t]he global economic downturn, and efforts to reverse it, will probably make China an even stronger economic competitor than it was before the crisis*".

¹² Outras notícias relatando essa mudança de clima para esses investimentos são: 1) no *New York Times* (18/04/2009): *Venture capital investment sinks*; 2) no *Financial Times* (11/02/2009): *Cash starts to dry up for venture capitalists*.

Segundo a mesma matéria, a questão principal advém da natureza dos investimentos que seriam realizados: "[t]he country is using its nearly US\$ 800 billion stimulus package to make its companies better able to compete in markets at home and abroad, to retain migrant workers on a immense scale and to rapidly expand subsidies for research and development".

Entre as oportunidades percebidas por empresas chinesas está a aquisição de companhias no estrangeiro, investimentos que seriam apoiados pelo governo com a facilitação de permissões para tais aquisições.

2.3.2. A Busca de Alternativas Energéticas

Relacionado ao tópico anterior, vale mencionar a crise atual como oportunidade para tentar romper (ou mitigar) trajetórias tecnológicas de alto custo ambiental (o que para o Brasil, significaria o alto retorno potencial de investimentos em áreas como energia solar). A crise como fonte desse tipo de oportunidade é sugerida por dois especialistas.

James Hanson, climatólogo da NASA, em entrevista à *Folha de São Paulo* (15/03/2009, p. A24), sugere que "[d]everíamos ver a crise econômica como uma oportunidade de usar a energia de forma mais eficiente e começar a introduzir energias alternativas".

Emma Rothschild, em artigo no *New York Review of Books* (26/02;2009) avalia a crise como uma oportunidade para "transformar a sociedade autoindustrial". Em uma discussão bastante ampla, Emma Rothschild sugere que seria um momento para "*an investment in ending the auto-industrial society of the twentieth century*".

3. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL

3.1. Perspectivas de Investimento em Médio Prazo: 2012

3.1.1. Setor Aeronáutico

Embraer

A Embraer objetiva manter a liderança mundial no seu principal segmento de mercado, o de aeronaves comerciais entre 30 e 120 assentos. Desta maneira existe a perspectiva de investimento no desenvolvimento de uma nova família de aviões de 30-70 assentos, pois, a partir do quinquênio 2015-2020, haverá necessidade de substituir não apenas a família *ERJ-145*, da própria Embraer, mas também os modelos mais antigos da canadense Bombardier¹³ e os da europeia ATR¹⁴. Atualmente, esta faixa de mercado está saturada, particularmente nos países desenvolvidos; mas, num prazo de aproximadamente 10 anos, muitas destas aeronaves estarão chegando ao final da vida útil, necessitando, assim, de substituição. Nesse sentido, a previsão é de que a Embraer invista, nos próximos cinco anos, entre US\$ 800 milhões e US\$ 1 bilhão no desenvolvimento desta nova família de aeronaves regionais. Entretanto, ainda não está definido qual o tipo de propulsor a ser utilizado, se continuará com o jato ou se adotará motores turboélice de alta performance.

No segmento de jatos comerciais de 80 a 110 assentos, a Embraer é, atualmente, a única fabricante mundial; entretanto, existem quatro concorrentes potenciais nesta categoria de aeronave. Em 2008, dois novos modelos concorrentes realizaram o primeiro voo: o *SSJ-100*, da Sukhoi russa, e o ARJ-21, da AVIC I chinesa. Além destes, a canadense Bombardier e a japonesa Mitsubishi estão planejando lançar novos modelos de jatos, o *C-Series* e o MRJ, respectivamente. Apesar dos dois primeiros concorrentes não terem experiência na comercialização de aeronaves no ocidente e dos dois últimos modelos ainda estarem na fase de estudos, a expectativa é de que a Embraer não continuará sozinha neste segmento de mercado pelos próximos anos. Entretanto, a perspectiva é de que a empresa brasileira mantenha o domínio neste segmento já que os dois modelos lançados estão voltados para atender mercados específicos, no caso Rússia e China. Quanto ao modelo canadense e japonês, se estes realmente forem lançados, a expectativa é que isto ocorra somente após 2012.

A Embraer está adotando uma estratégia bastante agressiva para se tornar, até 2015, um dos grandes *players* mundiais no mercado de jatos executivos e, para isto, estará realizando grandes investimentos neste segmento de mercado. Aproximadamente US\$750 milhões estão sendo destinados ao desenvolvimento dos novos jatos executivos de médio porte – o *Legacy-450* e o *Legacy-500*¹⁵ –, que devem entrar em operação a partir de 2012 e 2013, respectivamente. A Embraer também está investindo na ampliação da capacidade produtiva em Gavião Peixoto (SP), onde serão produzidos, a partir de 2009, os modelos *Phenom-100* e *Phenom-300*. Também está investindo US\$51 milhões em uma nova unidade produtiva a ser construída nos EUA para realizar a montagem final dos jatos *Phenom* destinados à América do Norte¹⁶. Ainda em 2009, iniciará a produção do *Lineage-1000*, na categoria dos jatos executivos de grande porte. Por fim, a expectativa é de que, nos próximos anos, a Embraer também invista em uma nova versão *Legacy-600* dado que a grande restrição desta aeronave é o seu alcance limitado.

Observa-se que a estratégia da Embraer busca ampliar sua participação neste segmento de aeronaves criando a mais completa linha de jatos executivos do mundo, indo do pequeno *Phenom-100* ao corporativo *Lineage-1000*. Contudo, a expansão neste segmento de mercado apresenta algumas limitações que precisam ser superadas. O mercado de aviação executiva tem como fator competitivo chave a maior sofisticação das aeronaves, aspecto que se reflete na "marca/tradição" destas. Apesar das excelentes qualidades técnicas dos aviões executivos produzidos pela Embraer, a empresa ainda não tem tradição neste

¹³ Modelos a jato CRJ-100/200/440 (50 assentos), além dos turboélices Q-100 e Q-200 (37 assentos) e Q-300 (50 assentos).

¹⁴ Versões mais antigas do avião turboélice ATR-42 (40-50 assentos).

¹⁵ Aviões com capacidade de 8 a 12 passageiros, das categorias *midlight* e *midsize*, respectivamente (NAKAMURA, 2008).

¹⁶ Prevista para entrar em funcionamento em 2010, a nova fábrica realizará a montagem final, pintura e acabamento dos aviões executivos, estando localizada no Aeroporto Internacional de Melbourne, no Estado da Flórida, EUA. (OSSE, 2008.b).

mercado. Além disso, este segmento apresenta uma estrutura menos concentrada, havendo um grande número de empresas concorrentes já estabelecidas, onde se destacam: a Bombardier, a Dassault, a Gulfstream, a Cessna e a Hawker-Beechcraft. A estratégia para superar estas limitações, segundo a própria Embraer, é oferecer um produto de qualidade superior por um preço inferior.

O mercado de aviões militares é de grande importância para Embraer, não apenas para diversificar suas atividades, mas como forma de acesso às tecnologias de ponta, que posteriormente são utilizadas no desenvolvimento e produção de aeronaves civis. Além disto, este segmento deverá ter sua demanda incrementada nos próximos anos em decorrência da implantação da Estratégia Nacional de Defesa (END). Na Força Aérea, a prioridade é "a aquisição de aeronaves de caça que substituam, paulatinamente, as hoje existentes, buscando a possível padronização; a aquisição e o desenvolvimento de armamentos e sensores, objetivando a autossuficiência na integração destes às aeronaves; e a aquisição de aeronaves de transporte de tropa".¹⁷ Para atender a demanda por aeronaves de transporte, a Embraer estará investindo, em conjunto com a FAB, em torno de US\$500 milhões no programa C-390, um jato de transporte militar e reabastecimento aéreo, cujas primeiras entregas estão previstas para 2012¹⁸. A Embraer também deverá participar do programa FX-2 da FAB, que visa a aquisição dos novos caças supersônicos de primeira linha¹⁹. O cronograma estabelecido pela FAB visa escolher o modelo vencedor em 2009²⁰, sendo que as 36 aeronaves que integrarão o primeiro lote deverão ser entregues a partir de 2014²¹. Como um dos objetivos estratégicos da FAB é a transferência de tecnologia para capacitação da indústria nacional, a associação da Embraer com a empresa vencedora do programa FX-2 é um pré-requisito básico. Esta parceria visaria inicialmente a produção de componentes e a integração de sistemas do novo avião por parte da Embraer, com significativos investimentos desta empresa, da parceira internacional e da própria FAB. Além destes dois projetos prioritários na área militar, a Embraer investirá na modernização de aeronaves da FAB, com destaque para os caças táticos AMX, que serão convertidos para o padrão A-1M, estando as primeiras entregas previstas para 2010²². Cabe também destacar os investimentos da Embraer no desenvolvimento do *Datalink-BR2*, um software de comunicação de dados que permitirá às aeronaves da FAB e aos comandos em terra operarem em rede.

Por fim, cabe ressaltar os investimentos da Embraer no Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Aeronáutica (CDTA), em parceria com o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cujo montante previsto está entre US\$ 80 milhões e 100 milhões anuais. O objetivo primeiro do CDTA é o de dominar as novas tecnologias de estruturas aeronáuticas leves, particularmente no que se refere à utilização de materiais compostos, pois, como visto anteriormente, são estes novos materiais que estão no centro da revolução tecnológica pela qual está passando o setor aeronáutico mundial.

Cadeia Produtiva

Os investimentos dos fornecedores da cadeia produtiva do setor aeronáutico estão diretamente atrelados ao desempenho da empresa líder, Embraer. Entretanto, esta dependência pode ser relativizada em decorrência de assimetrias existentes na esfera macroeconômica internacional. Atualmente, o câmbio valorizado e os elevados custos da mão-de-obra são considerados os maiores entraves à competitividade do setor aeronáutico europeu, de forma que as empresas deste continente, particularmente as fornecedoras, estão buscando transferir parte de suas atividades produtivas para outros países. Neste contexto, o Brasil se coloca como um dos países mais bem posicionados para receber esses investimentos, sobretudo pela destacada competência neste setor industrial. Dessa maneira, a expectativa é de que esta "janela de oportunidades" permita um incremento dos investimentos das parceiras de risco da Embraer, que em sua maioria são europeias. Estes investimentos devem se concentrar na transferência de etapas produtivas de maior valor adicionado para o Brasil, não apenas para atender a empresa líder brasileira, mas também as fabricantes europeias.

¹⁷ ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA (2008, p.41).

¹⁸ O projeto desta aeronave busca o máximo de comunalidade com o jato comercial *EMB-190*, visando minimizar os custos, riscos e tempo de lançamento. O *C-390* apresenta uma boa perspectiva de mercado, já é o único projeto ocidental que visa substituir o tradicional avião de transporte *C-130 Hercules*. (DRUMOND, 2007).

¹⁹ Segundo a FAB, este programa visa substituição gradual ao longo dos próximos anos dos caças atualmente em uso pela FAB: *Mirage 2000* (12), *F-5M* (57) e *A-1M* (53). (RITTNER, 2008).

²⁰ Em outubro de 2008, a Comissão Gerencial do Projeto *F-X2* (CGPF-X2) apresentou as aeronaves pré-selecionadas: o *F-18E/F Super Hornet* da Boeing norte-americana, o *Rafale* da Dassault francesa e o *Gripen NG* da Saab sueca. (CECOMSAER, 2008).

²¹ O valor estimado deste primeiro lote de aeronaves é de US\$ 2,2 bilhões. (MONTEIRO et.al., 2008).

²² Além do programa *A1-M*, estimado em US\$ 400 milhões, está prevista a modernização dos aviões de transporte leve *EMB-110 Bandeirantes* e dos aviões de treinamento *EMB-312 Tucano*.

Em relação às empresas subcontratadas, a previsão é de que concentrem seus investimentos na renovação dos equipamentos e na reorganização da produção, atendendo aos requisitos da Embraer por maior flexibilidade produtiva²³. Entretanto, a baixa escala produtiva, que é a principal deficiência destas empresas, não deve ser superada a partir de investimentos no crescimento orgânico, mas através de ações cooperadas e, principalmente, com o avanço da consolidação do setor. Entre as principais ações cooperadas, a constituição do APL Aeroespacial, que está sendo coordenado pelo CECOMPI, é o projeto que apresenta a melhor perspectiva de sucesso, particularmente no que se refere à capacitação, qualificação e promoção comercial das empresas associadas. Entretanto, a expectativa é de que, inicialmente, apenas um pequeno número de empresas venha a participar deste APL.

Existe a perspectiva de um avanço no processo de consolidação, mas este deve estar restrito a um número muito pequeno de empresas nacionais do segmento de aeroestruturas. As empresas resultantes deste processo deverão ganhar escala deixando de ser subcontratadas para se tornarem fornecedoras de peças, partes e componentes, podendo até mesmo, atingir o patamar de parceira de risco da Embraer em novos projetos. Por fim, cabe destacar que a "janela de oportunidades" aberta para as firmas estrangeiras investirem no Brasil deverá resultar na aquisição de diversas empresas nacionais.

Nichos de Mercado

No final de 2008, a Helibras fechou um acordo para implantar a linha de montagem do helicóptero pesado EC-725 na unidade de Itajubá (MG); em contrapartida, o Ministério da Defesa realizou a encomenda inicial de 50 unidades²⁴, que deverão ser entregues entre 2010 e 2016. O objetivo é que, ao longo do programa, o índice de nacionalização atinja 50%; para isto os recursos estão estimados entre US\$400 e US\$500 milhões, a serem investidos por toda a cadeia industrial, composta pela Helibras e seus fornecedores.²⁵ O EC-725 apresenta boas perspectivas de venda não apenas para as Forças Armadas Brasileiras, mas também para a utilização em plataformas *off-shore*.

Com relação às aeronaves leves, a previsão é de que novas empresas iniciem suas atividades produtivas, particularmente as pequenas empresas inovadoras que estão voltadas para a produção de aeronaves em materiais compostos. Entre estas se destacam duas empresas de engenharia aeronáutica: a ACS - Advanced Composites Solutions (ACS-100 *Sora*) e a Geometra (TX-C)²⁶.

3.1.2. Setor de Defesa

Existe a perspectiva de uma grande ampliação dos investimentos no setor de defesa em decorrência da implantação da Estratégia Nacional de Defesa. Apresentada em dezembro de 2008, a Estratégia Nacional de Defesa é um plano "focado em ações estratégicas de médio e longo prazo e objetiva modernizar a estrutura nacional de defesa"²⁷ que, por sua vez, demandará um significativo aumento dos investimentos em equipamentos militares. Neste contexto, a Estratégia Nacional de Defesa também busca o fortalecimento da indústria brasileira de material de defesa, tendo como objetivo central a capacitação tecnológica dessa indústria, "para assegurar que o atendimento das necessidades de equipamento das Forças Armadas apóie-se em tecnologias sob domínio nacional".²⁸

As perspectivas de grande expansão das encomendas militares, e do concomitante apoio à indústria brasileira de material de defesa propiciadas pela Estratégia Nacional, abrem uma importante "janela de oportunidade" para realização de novos investimentos que tornarão as empresas nacionais muito mais robustas. Por outro lado, esta ampliação da demanda deverá gerar uma atração de firmas estrangeiras que, provavelmente, resultará na desnacionalização de algumas empresas de capital nacional, dado que as aquisições de equipamentos de defesa terão como prioridade o desenvolvimento e a produção local.

²³ A Embraer vem implantando o conceito de Lean Manufacturing nas suas unidades produtivas e está exigindo que seus fornecedores passem a acompanhá-la. (Entrevista concedida pelo Sr. Agliberto Chagas, Gerente Executivo do CECOMPI, em 4 de outubro de 2008).

²⁴ O projeto EC-725 destina 16 aeronaves para a Marinha, 16 para o Exército e 18 para a Força Aérea, tendo um valor total de US\$ 2,6 bilhões. (SEGURANÇA E DEFESA, 2008).

²⁵ Entrevista concedida, em 2 de outubro de 2008, pelo Sr. Laurent Mischler, Diretor Financeiro e Administrativo da Helibras.

²⁶ Estas empresas estão instaladas nos parques tecnológicos da Incubaero e da UNIVAP, respectivamente.

²⁷ ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA (2008, Apresentação).

²⁸ ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA (2008, p.3).

Além da ampliação dos investimentos, o fortalecimento das empresas que compõem este setor industrial passa, necessariamente, por uma ampla consolidação da estrutura produtiva. Somente esta consolidação é capaz de superar as deficiências relacionadas com a elevada segmentação e a baixa escala empresarial deste setor. Entretanto, a perspectiva é que, no médio prazo, as operações de fusões e aquisições estejam restritas a algumas empresas que operam em segmentos correlatos, particularmente entre aquelas que realizam projetos conjuntos. A expectativa é de que o Estado não apenas apoie, mas também coordene este processo de consolidação. Isto é reforçado pelo fato da Estratégia Nacional de Defesa propor a adoção de um novo regime jurídico onde o Estado ganhará poderes especiais sobre as empresas privadas de material de defesa ²⁹, facilitando, assim, a coordenação de programas de desenvolvimento conjunto e, conseqüentemente, do processo de consolidação.

A seguir são apresentadas as perspectivas de investimento, para o período 2009-2012, dos principais programas militares do setor de defesa da indústria aeroespacial brasileira: Mísseis: com relação aos mísseis ar-ar de curto alcance, dois programas se destacam, o primeiro é o MAA-1B Piranha II, um míssil de 4º geração cujo projeto foi iniciado em 2005 e que deve estar operacional em 2010, e que projeta consumir um investimento superior a US\$50 milhões ³⁰. O segundo é o *A-Darter*, um míssil de quinta geração, do qual o Brasil foi convidado para participar do desenvolvimento, em conjunto com a Denel da África do Sul, e para isto deverá investir aproximadamente US\$100 milhões, correspondentes à metade do custo total do projeto, que deverá estar operacional em 2015 ³¹. Também existe a previsão de investimentos para finalizar o desenvolvimento e iniciar a produção dos mísseis *MAR-1* antiradiação e *MSS-1.2* míssil anticarro. Por fim, a perspectiva de se iniciar o desenvolvimento do MAS-1 um míssil terra-ar de curto alcance.

Radars: investimentos da OrbiSat no desenvolvimento do radar de vigilância aérea com médio alcance, o SABER M-200, estimado em US\$10 milhões; do *Grade*, um radar meteorológico de longo alcance para uso dual (civil e militar), estimado em US\$2 milhões e de uma versão miniaturizada do radar de abertura sintética (InSAR) para ser utilizado em VANTs, estimada em US\$ 600 mil. Existe ainda a perspectiva de investimentos da Omnisys, juntamente com a francesa Thales, no desenvolvimento da tecnologia de estado sólido utilizada nos radares de longo alcance destinado ao controle do tráfego aéreo. Os valores estão estimados em US\$3 milhões ³².

Sistemas: perspectiva de continuidade dos investimentos da Atech no desenvolvimento de sistemas de defesa aérea, controle de armas e simuladores, com destaque para os sistemas integrados de comunicação, comando, controle e inteligência (C3I).

Sensores: desenvolvimento de um monóculo de visão noturna para utilização individual ou veicular ³³, com investimentos estimados em US\$5,2 milhões ³⁴.

VANTs: desenvolvimento de VANTS para uso militar, desde modelos mais simples para serem utilizadas como alvo aéreo, até modelos mais sofisticados usados na função de aeronaves de reconhecimento. A perspectiva de investimento varia de US\$300 mil a US\$20 milhões de acordo com o modelo. Os principais projetos são das seguintes empresas: Avibras (*Acauã*), SantosLab (*Carcará e Jabiru*), AGX Tecnologia (*AGplane*), Flight Solutions³⁵ (FS-01, FS-02 e FS-03), Embravant (*Gralha Azul*) e, inclusive a expectativa de parceria com a Denel sul-africana no desenvolvimento conjunto da VANT de alto desempenho Bateleur ³⁶.

²⁹ "Esses poderes serão exercidos quer por meio de instrumentos de direito privado, como a golden share, quer por meio de instrumentos de direito público, como os licenciamentos regulatórios". (ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA, 2008, p.26).

³⁰ Este míssil está sendo desenvolvido pela Mectron e CTA, tendo a participação da Avibras no desenvolvimento do propulsor. (MAA-1B, 2008)

³¹ O Brasil assinou o acordo de cooperação com a África do Sul, em 2006, tendo a participação de três empresas brasileiras: Mectron (estruturas), Avibras (propulsores) e Optoeletrônica (sensores). Estas empresas estão enviando técnicos para participar do desenvolvimento que, em sua quase totalidade, está sendo feito no exterior. (CAMPBELL, 2008).

³² TEIXEIRA, 2007.

³³ A tecnologia termal, utilizada nos óculos de visão noturna, apresenta uso dual, sendo particularmente importante na área médica.

³⁴ SIMÕES, 2007

³⁵ Joint-venture entre duas empresas recém criadas na Incubaero do Parque Tecnológico de São José dos Campos, a Flight Technologies e a Advanced Composites Solutions (ACS).

³⁶ CAMPBELL, 2008.

3.1.3. Setor Espacial

O Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) tem previsto um investimento médio anual de aproximadamente US\$220 milhões até o ano de 2012. A expectativa é de que estes investimentos sejam efetivados, dada a necessidade do país em recuperar os atrasos e fracassos ocorridos ao longo das últimas décadas no setor espacial. Esta expectativa é corroborada pela demanda militar, pois a Estratégia Nacional de Defesa elegeu o setor espacial como um dos três setores de importância estratégica que precisam ser fortalecidos. As prioridades da Estratégia Nacional de Defesa para o setor espacial são projetar e fabricar satélites geoestacionários e de sensoriamento, além dos veículos lançadores, de forma que o Brasil tenha autonomia tecnológica neste setor que apresenta uma importância decisiva para a defesa nacional ³⁷.

Juntamente com a ampliação dos investimentos, que permite a criação de uma importante "janela de oportunidade" para a indústria nacional, existe a perspectiva de um avanço no processo de consolidação da estrutura produtiva, não apenas através da formação de consórcios, mas, principalmente, com as operações de fusões e aquisições. Por um lado, algumas empresas nacionais devem unir suas atividades buscando superar as deficiências relacionadas com a elevada segmentação e a baixa escala produtiva. Por outro lado, conglomerados estrangeiros devem investir na aquisição de empresas locais como forma de obter parte da demanda nacional.

Apesar do avanço das empresas privadas, a perspectiva de médio prazo é que estas continuem a ser fornecedoras de partes e componentes para as instituições públicas responsáveis pelo programa espacial brasileiro.

A seguir são apresentadas as perspectivas de investimento nos principais programas industriais do setor espacial brasileiro, para o período 2009-2012:

Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS): renovação do acordo com a China, tendo agora uma maior participação brasileira, que será de 50%, com investimentos estimados em US\$250 milhões. Este programa prevê a construção e lançamento de dois novos satélites de sensoriamento de grande porte (2 toneladas), o *CBERS-3* (2010) e o *CBERS-4* (2012) ³⁸.

Plataforma Multimissão (PMM): satélites de pequeno porte (500 kg) que utilizam um módulo de serviço padrão (subsistemas de propulsão, suprimento de energia e telecomunicações) e deverão ser utilizados em diversas missões de acordo com a carga útil carregada: a) *Amazônia-1*: satélite de sensoriamento com câmeras de alta resolução (2010); b) *MAPSAR*: satélite de sensoriamento com radar de abertura sintética (2013); c) *Lattes-1*: satélite científico para pesquisa geofísica (2012) e d) *GPM – Global Precipitation Mission*: satélite meteorológico (2014) ³⁹.

Satélite Geoestacionário Brasileiro (SGB): este programa visa dotar o país de independência em comunicações governamentais, principalmente militares, sistema de controle de tráfego aéreo e produção de dados meteorológicos ⁴⁰. Para isto prevê o lançamento de três satélites de grande porte (duas ou mais toneladas), sendo que o primeiro deles poderá estar em órbita antes de 2012. O investimento do programa SGB está estimado em US\$1 bilhão e, devido à complexidade tecnológica, deverá ser desenvolvido em parceria com empresas e institutos de outros países, visando à transferência de tecnologia para as empresas nacionais ⁴¹.

Veículo Lançador de Satélites (VLS): desenvolvimento concomitante do VLS-1 (combustível sólido) e do VLS-2 (misto sólido e líquido), ambos com o apoio da agência espacial russa (*Roskosmos*). Os investimentos previstos para os próximos quatro anos são de aproximadamente US\$100 milhões, havendo a expectativa de lançamento do VLS-1 antes de 2012.

³⁷ ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA, 2008, p.24.

³⁸ MILESKI, 2008.b.

³⁹ MILESKI, 2008.b.

⁴⁰ De acordo com a Organização Internacional de Aviação Civil, o Brasil terá de adotar o sistema para as operações de controle de tráfego aéreo via satélite até 2010 utilizando satélite próprio ou alugando de terceiros. (GODOY, 2007 e AMATO, 2008).

⁴¹ As especificações do SGB estão sendo definidas pela Atech, CTA, CPqD e Fundação Casimiro Montenegro. (GODOY, 2007).

Alcântara Cyclone Space (ACS): criada em 2007, esta *joint-venture* entre as agências espaciais brasileira (AEB) e ucraniana (NSAU)⁴², é responsável pela operação e comercialização do sistema de lançamento do foguete de médio porte Cyclone-4 a partir do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), devendo entrar em operação a partir de 2010.

⁴² O capital investido na Alcântara Cyclone Space é de US\$ 105 milhões, sendo que o Brasil é responsável por 50% destes recursos. (MILESKI, 2008.a).

3.2. Perspectivas de Investimento em Longo Prazo: 2022

3.2.1. Setor Aeronáutico

Embraer

A perspectiva é de que a Embraer continue existindo, no ano de 2022, como uma empresa brasileira de controle nacional, concentrada no setor aeronáutico, mas com uma atuação mais diversificada.

No segmento comercial, a Embraer deverá manter-se como a terceira maior fabricante mundial. Por um lado, a Boeing e a Airbus deverão continuar na liderança deste segmento, concentrados na produção das aeronaves de grande porte, e, por outro lado, os concorrentes potenciais dificilmente alcançarão o patamar da Embraer no segmento de aeronaves regionais. Na categoria de 70-120 assentos, a liderança da Embraer estará consolidada, pois a família de aviões *EMB-170/190* está em operação desde 2004, enquanto as aeronaves de seus potenciais concorrentes entrarão em operação uma década depois, isto se os projetos forem realmente efetivados.

Os concorrentes deverão encontrar um mercado relativamente saturado pelas aeronaves brasileiras, além de enfrentar uma empresa com uma estrutura bastante consolidada, de forma que ocuparão apenas uma parcela marginal deste segmento. Entretanto, a expectativa é que os aviões concorrentes, particularmente o *C-Series* e o MRJ, introduzam inovações em motores e novos materiais. Sendo assim, ao longo destes anos, a Embraer deverá investir em novas versões dos seus conceituados jatos, de modo a incorporar as inovações trazidas pelos seus concorrentes⁴³. Dependendo do caráter disruptivo das inovações introduzidas no setor aeronáutico, a Embraer poderá investir no desenvolvimento de uma nova família de aeronaves que venha a substituir os *E-Jets* depois de 2025.

Neste período, a Embraer também estará investindo na capacitação produtiva de sua nova família de aeronaves regionais da categoria de 50 assentos. Estas novas aeronaves deverão ter uma boa aceitação pelo mercado, pois além de incorporarem diversas inovações haverá a necessidade de se substituir os aviões que estão chegando ao fim da vida útil.

Ainda no segmento de aviões comerciais, dada a elevada competência técnica da Embraer, existe a possibilidade desta se tornar parceira de uma das duas grandes fabricantes mundiais, Boeing ou Airbus, no desenvolvimento de uma nova família de aeronaves de grande porte, superior a 120 assentos. Esta nova família de aeronaves visaria substituir, a partir de 2020 a 2025, os modelos *narrow body*⁴⁴ atualmente em produção: os *Boeing 737* ou a família *A-320* da Airbus.

No segmento de aviões executivos a perspectiva é de que a Embraer se firmará como uma das empresas líderes mundiais nos próximos quinze anos. Para isso, a empresa brasileira estará investindo, prioritariamente, na consolidação dos modelos atualmente em desenvolvimento: *Phenom-100*, *Phenom-300*, *Legacy-450*, *Legacy-500* e *Lineage-1000*, além da nova versão do *Legacy-600*. Esses investimentos serão destinados à ampliação da capacidade produtiva, à estruturação de uma rede de serviços pós-venda de escala global e ao marketing das aeronaves. Para completar sua linha de jatos executivos, a Embraer deverá investir

⁴³ Por exemplo, o modelo canadense, o *C-Series*, deverá adotar um novo motor da Pratt&Whitney que utiliza uma nova tecnologia, sendo 15-20% mais econômico. Entretanto, esta é uma tecnologia ainda não testada, e as outras grandes fabricantes de turbinas – Rolls-Royce e GE – estão buscando alternativas tecnológicas mais eficientes que poderão ser utilizadas em novas versões dos *E-Jets*.

⁴⁴ Aviões comerciais de corredor único.

no desenvolvimento de um novo modelo intermediário entre o Legacy-600 e o Lineage-1000, que tenha como suas principais características o longo alcance e a alta tecnologia ⁴⁵. Essa categoria é considerada a mais sofisticada da aviação executiva, possuindo elevadas barreiras à entrada, mas também propiciando um maior retorno aos seus fabricantes.

A expectativa é que o segmento militar eleve sua participação no faturamento da Embraer nos próximos quinze anos, devido, principalmente, ao incremento da demanda da FAB decorrente da implantação da Estratégia Nacional de Defesa. Dado que um dos objetivos estratégicos da FAB é substituir atuais aviões de combate no intervalo entre os anos de 2015 e 2025, os investimentos da Embraer deverão se concentrar na capacitação produtiva das aeronaves do programa *FX-2*, inicialmente realizando a integração de sistemas e, depois, evoluindo para a produção e adaptação das aeronaves no país. Em suma, esse programa deverá propiciar à empresa brasileira o domínio de tecnologias sensíveis como as aeroestruturas supersônicas e a engenharia de sistemas, que permitam a ela participar, no futuro, do desenvolvimento conjunto de um caça de 5ª geração. A Embraer também deverá investir na produção do *C-390* e no desenvolvimento de novas versões de aviões de patrulha marítima e vigilância eletrônica a partir da adaptação de modelos civis. Outra área em que a Embraer deverá investir é a de sistemas integrados de comunicação, comando, controle e inteligência (C3I). Por fim, é provável que a Embraer seja convidada pela FAB a participar, em conjunto com outras empresas nacionais ou estrangeiras, do desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) nacional de alto desempenho, caso essa tecnologia evolua como uma alternativa viável para a área militar.

Cadeia Produtiva

A perspectiva de longo prazo é que o Brasil se estabeleça como uma importante base produtiva de aeropartes e aeroestruturas para as empresas estrangeiras aqui estabelecidas, destinando uma significativa parcela dessa produção para o mercado internacional. Cabe destacar a possibilidade, ainda que pequena, da produção de turbinas aeronáuticas no país. Entretanto, o mais provável é que as grandes fabricantes mundiais, com destaque para GE e Rolls-Royce, venham a transferir algumas etapas produtivas para as suas subsidiárias instaladas no Brasil.

Com relação às empresas nacionais, a expectativa é de que o processo de consolidação caminhe para a criação de fornecedores de primeira linha com escala global, que atuem na produção de conjuntos estruturais, sistemas aeronáuticos e serviços de engenharia ⁴⁶. As empresas mais promissoras para atingir esse patamar, de forma individual ou em conjunto com outras firmas, são a Graúna Aerospace, a Akaer e a Eleb.

Ainda com relação às empresas nacionais, existe a expectativa de consolidação do APL Aeroespacial de PMEs, de forma que as empresas associadas se estabeleçam como fornecedoras de segundo ou terceiro nível da Embraer, além de expandirem suas vendas para o mercado internacional. Por fim, existe a perspectiva de investimento na criação de empresas nacionais de pequeno e médio porte que venham a ocupar os segmentos de mercado criados pelas novas tecnologias, tais como novos materiais, novos sistemas aeronáuticos, motores aeronáuticos de combustível alternativo e inovações relacionadas ao conforto das aeronaves.

Nichos de Mercado

A expectativa é que a execução do programa *EC-725*, permita transformar a Helibras em um dos polos mundiais de produção da Eurocopter, além de capacitar a empresa brasileira para participar de projetos conjuntos de desenvolvimento de novos helicópteros. Existe, ainda, a possibilidade de instalação de uma nova montadora de helicópteros no país, como contrapartida exigida pelo Ministério da Defesa na eventual aquisição de um grande lote de helicópteros militares. Essa nova empresa funcionaria como um centro de montagem e manutenção das novas aeronaves e poderia ser estabelecida em associação com uma empresa local.

⁴⁵ A Embraer deverá entrar nesta categoria utilizando a tradição obtida nos demais jatos executivos, associado à alta tecnologia dos aviões militares e, se possível, alguns componentes estruturais da nova família de aviões regionais.

⁴⁶ A Embraer deverá entrar nesta categoria utilizando a tradição obtida nos demais jatos executivos, associado à alta tecnologia dos aviões militares e, se possível, alguns componentes estruturais da nova família de aviões regionais.

No segmento de aviões leves, a expectativa é que pelo menos uma empresa local consiga se estruturar, inicialmente, fornecendo aviões de treinamento para a FAB e para os aeroclubes e, na sequência, desenvolvendo versões de uso privado. Dadas as grandes dimensões do mercado brasileiro de pequenas aeronaves, uma escala produtiva que atendesse uma parcela significativa do mercado local, poderia alavancar a empresa para uma atuação global.

3.2.2. Setor de Defesa

Em longo prazo, a expectativa é que o avanço do processo de consolidação, juntamente com os crescentes investimentos na área militar, propicie o surgimento de uma grande empresa nacional no setor de defesa aeroespacial, uma empresa com escala e atuação global. Essa futura empresa líder deverá ter um *portfolio* diversificado na indústria de material de defesa, além de estar presente nos setores espacial e aeronáutico, particularmente como fornecedora de tecnologias sensíveis. Por fim, a expectativa é que a empresa líder seja de controle privado, mas com uma estratégica participação estatal, possivelmente na forma de *golden share*.

Com relação às demais empresas privadas, a expectativa é de que se concentrem em segmentos de mercado bastante específicos, em geral dentro da cadeia produtiva da futura empresa líder. Por sua vez, é provável que as empresas estatais de material de defesa se reorganizem, passando também a operar em alguns segmentos da indústria aeroespacial, desta forma, complementando as atividades das empresas privadas⁴⁷. Sendo assim, existe a perspectiva de uma forte coordenação estatal na estrutura produtiva do setor de defesa, além da possibilidade de uma elevada interpenetração patrimonial entre as empresas que compõe a indústria aeroespacial brasileira.

Devido às necessidades estratégicas do Brasil em relação às atividades de monitoramento e controle do extenso território nacional⁴⁸, a expectativa é que o setor industrial de defesa se estabeleça como um dos grandes produtores mundiais de sistemas integrados e de radares. Esses equipamentos permitem que as Forças Armadas operem em rede, com elevada eficiência, rapidez e flexibilidade. Dessa maneira, as empresas nacionais deverão estar entre as líderes mundiais no desenvolvimento de sistemas integrados de comunicação, comando, controle e inteligência (C3I). Essas empresas também deverão avançar na produção de sistemas embarcados, particularmente para aeronaves. Com relação aos radares, o Brasil deverá ser um dos polos mundiais no desenvolvimento e produção de radares de solo (controle de tráfego aéreo, defesa aérea e controle de armas antiaéreas), além da perspectiva de que avance no desenvolvimento de radares embarcados.

Finalizando, destaca-se que a indústria aeroespacial brasileira deverá avançar no desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados (VANTS), dado que esta é uma das diretrizes estratégicas da FAB⁴⁹. Dessa maneira, existe a possibilidade da indústria nacional apresentar, no longo prazo, uma inserção ativa no mercado mundial de VANTS, particularmente nos modelos mais simples e que tenham finalidade dual, civil e militar. Com relação aos VANTS mais sofisticados, destinados à vigilância e ao sensoriamento, estas deverão ser produzidas em parcerias com outros países, possivelmente tendo a Embraer como uma das empresas participantes.

3.2.3. Setor Espacial

A expectativa de uma demanda crescente por serviços espaciais, particularmente de monitoramento, implicará em uma significativa expansão dos investimentos no setor espacial brasileiro a longo prazo. As principais demandantes desses serviços são as instituições públicas relacionadas às áreas de meio ambiente, agricultura, defesa, educação à distância, infraestrutura e planejamento urbano. Dessa maneira, o Brasil deverá se tornar um *Global EO - Earth Observation*, isto é, um ator global em atividades de observação da terra. A estrutura industrial do setor espacial brasileiro deverá se consolidar na produção

⁴⁷ Segundo a ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA (2008, p.26): "o componente estatal da indústria de material de defesa terá por vocação produzir o que o setor privado não possa projetar e fabricar, a curto e médio prazo, de maneira rentável. Atuará, portanto, no teto, e não no piso tecnológico".

⁴⁸ Segundo a ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA (2008, p.4), as Forças Armadas serão organizadas sob a égide do trinômio: Monitoramento/ Controle, Mobilidade e Presença.

⁴⁹ "A segunda diretriz é o avanço nos programas de veículos aéreos não tripulados". (ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA, 2008, p.23)

de satélites de sensoriamento remoto, coleta de dados ambientais e meteorológicos. Na maioria dos casos, esses novos satélites deverão utilizar plataformas únicas de pequeno porte. Além disso, as empresas e institutos do setor espacial também deverão avançar nos sistemas de processamento das informações obtidas por esses satélites, oferecendo soluções completas e integradas para as mais diversas áreas.

Ainda com relação ao segmento de satélites, as empresas e os institutos de pesquisa brasileiros deverão participar do desenvolvimento e produção de satélites geoestacionários de grande porte, em conjunto com as empresas estrangeiras. Inicialmente, os SGB serão destinados às instituições públicas brasileiras. Entretanto, poderão ser criadas associações entre empresas nacionais e estrangeiras para a venda desses satélites no mercado internacional ⁵⁰.

O setor industrial espacial também deverá se capacitar na produção de veículos lançadores de satélites, inicialmente se consolidando na produção dos VLS de pequeno e médio porte, com capacidade de carga de até uma tonelada, o que seria suficiente para lançar a maioria dos satélites de monitoramento que estão sendo desenvolvidos pelo INPE. A longo prazo, o Brasil deverá avançar no desenvolvimento de um VLS de grande porte, mas este dificilmente estará ativo antes de 2022 ⁵¹. Dessa maneira, é provável que nesse período o Brasil se associe a outros países na produção de VLS de grande porte, sendo uma das possibilidades a participação de empresas e institutos nacionais no desenvolvimento do *Cyclone-5*, em conjunto com a Ucrânia.

A construção de satélites e veículos lançadores deverá continuar a cargo dos institutos de pesquisa, INPE e IAE/CTA, respectivamente. Entretanto, a perspectiva é de que as empresas privadas aumentem sua participação nos investimentos do setor espacial brasileiro, deixando de ser fornecedoras de componentes específicos para se tornarem responsáveis pelo desenvolvimento e produção de sistemas completos. Esse maior comprometimento das empresas privadas em conjunto com a elevação dos investimentos deverá propiciar um avanço no processo de consolidação da estrutura produtiva do setor espacial brasileiro. A expectativa é de que seja criada, pelo menos, uma grande empresa nacional no setor industrial espacial; muito provavelmente deverá ser a mesma empresa líder do setor de defesa da indústria aeroespacial, dada à elevada sinergia existente entre estes dois setores. Com relação às demais empresas privadas, a expectativa é de que continuem concentradas em segmentos de mercado bastante específicos, podendo inclusive participar como fornecedoras da futura empresa líder.

3.3. Proposições de Políticas

Na indústria aeroespacial os investimentos são determinados tanto pelo nível da demanda, quanto pelo dinamismo tecnológico. Dessa maneira, as proposições de políticas públicas que visem à ampliação dos investimentos e à consequente construção de vantagens competitivas pela indústria aeroespacial brasileira passam, necessariamente, por esses dois elementos: demanda e tecnologia. A estes se soma um terceiro elemento, aqui denominado de núcleo dinâmico de empresas, isto é, um conjunto de proposições que busquem não apenas preservar as empresas bem sucedidas, mas também contribuir para a criação destas. Nesse sentido, as proposições de políticas públicas estão voltadas para a demanda pública e privada, o desenvolvimento tecnológico e o núcleo dinâmico de empresas.

3.3.1. Demanda Pública

As proposições relativas à demanda pública visam não apenas a ampliação dos investimentos, mas que estes também sejam mais eficientes, promovendo a construção de vantagens competitivas na indústria aeroespacial brasileira, como podem ser vistas a seguir:

⁵⁰ A expectativa é de que o SGB seja um satélite inovador (multiuso e de menor porte), facilitando assim sua inserção no mercado internacional.

⁵¹ Em 2005, foi apresentado o programa Cruzeiro do Sul, que ainda se encontra em fase embrionária e prevê a construção de uma família de cinco modelos de veículos lançadores: Alfa, Beta, Gama, Delta e Epsilon. O primeiro modelo é na realidade o VLS-2 e os três últimos apenas variações de um mesmo modelo de veículo lançador de grande porte, que, na sua capacidade máxima, poderá transportar satélites de até quatro toneladas. (MILESKI, 2007).

- *Coordenação:* dois importantes planos do governo federal apresentam as diretrizes para os setores de defesa e espaço, respectivamente, a Estratégia Nacional de Defesa e o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE). A Estratégia Nacional de Defesa apresenta um conjunto de tarefas que precisariam ser implementadas e efetivadas, enquanto que o PNAE necessitaria de uma ampla revisão, dada a sua precoce desatualização. Em ambos os casos, esses planos deveriam apresentar quais são seus programas prioritários de forma clara e objetiva: no segmento aeronáutico militar, caças supersônicos e grandes aeronaves (aviões e helicópteros) de transporte; no segmento de defesa, radares (portáteis, fixos e aerotransportados) e sistemas integrados, além de selecionar alguns tipos de mísseis e VANTs a serem desenvolvidos no país, e, no setor espacial, os satélites de monitoramento, os VLS de pequeno e médio porte e desenvolvimento conjunto de satélites geoestacionários. Além de eleger prioridades, as aquisições públicas deveriam ser, dentro do possível, complementares entre si, pois assim, se potencializaria os ganhos de escala e escopo, evitando-se a pulverização de recursos e esforços.
- *Regulação:* deveria ser estabelecido um regime jurídico (econômico e tributário) especial que priorizasse a indústria aeroespacial brasileira na aquisição de material de defesa e espaço. Em compensação, as empresas deveriam obedecer à rígida legislação dos licenciamentos regulatórios. Quanto à necessidade de aquisição de produtos do exterior, a regulação deveria estipular que os contratos de importação apresentassem cláusulas de contrapartida que contribuíssem para a capacitação tecnológica da indústria nacional; além disso, deveria se vetar a importação de material espacial e de defesa usados. Com relação às exportações, elas deveriam ser viabilizadas e estimuladas pela legislação, através da desoneração tributária, dos incentivos fiscais e das garantias para os contratos de exportação.
- *Recursos:* a legislação deveria impedir qualquer tipo de contingenciamento, garantindo a alocação de recursos suficientes, de forma contínua para os programas espaciais e de defesa estabelecidos como prioritários. Seria importante que o BNDES criasse uma linha de crédito específica para o financiamento dos produtos espacial e de defesa, destinados tanto ao mercado interno quanto às exportações.

3.3.2. Demanda Privada

A demanda privada da indústria aeroespacial está concentrada no setor aeronáutico, nos segmentos de aeronaves comerciais e executivas. Além disso, também inclui o segmento comercial do setor espacial, mas no Brasil essa demanda é muito restrita e totalmente voltada para a indústria estrangeira. A seguir as principais propostas de incentivo à demanda privada:

- *Coordenação:* não existem instrumentos de coordenação da demanda privada da indústria aeroespacial brasileira, e, mesmo que existissem, os mecanismos para coordenar a demanda interna seriam insuficientes, pois mais de 80% das vendas desta indústria são realizadas no exterior.
- *Regulação:* as instituições responsáveis pela regulação do transporte aéreo nacional, no caso, o Conselho Nacional de Aviação Civil (CONAC) e a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) deveriam estabelecer uma política de desenvolvimento da aviação regional brasileira. Essa política incentivaria indiretamente o setor aeronáutico nacional, pois permitiria o desenvolvimento do mercado nacional de aviões regionais, segmento no qual a indústria brasileira é líder mundial. Além disso, as legislações que possibilitam as exportações de aeronaves deveriam ser mantidas e ampliadas, particularmente no que se referem às desonerações tributárias e incentivos fiscais. Com relação ao segmento comercial de satélites, as licitações para os direitos de uso das posições orbitais deveriam estabelecer contrapartidas industriais e tecnológicas que contribuíssem para a capacitação da indústria nacional.
- *Recursos:* o BNDES deveria manter as atuais linhas de financiamento e garantias às exportações do setor aeronáutico. Entretanto, seria necessário que essas linhas de financiamento apresentassem um comportamento anticíclico, isto é, que houvesse um maior volume de recursos nos períodos de restrição ao crédito. Para esta tarefa, seria importante que o BNDES: a) flexibilizasse temporariamente as legislações que limitam a concessão de crédito para uma única empresa ou setor; b) atuasse em conjunto com outras instituições financeiras nacionais e estrangeiras, coordenando e dando garantias às operações de financiamento às exportações; c) utilizasse recursos do recém-criado Fundo Soberano do Brasil (FSB) para financiar as exportações de aeronaves, dado que um dos objetivos deste fundo é o de promover a internacionalização das empresas brasileiras.

3.3.3. Tecnologia

A seguir são apresentadas as proposições que visam promover e consolidar o desenvolvimento científico e tecnológico na indústria aeroespacial brasileira:

- *Coordenação*: os Ministérios da Defesa (MD) e da Ciência e Tecnologia (MCT), seguindo as diretrizes de longo prazo, deveriam selecionar e coordenar as pesquisas em tecnologias aeroespaciais a serem executadas pelos institutos, centros de pesquisa, universidades e empresas. Entre os projetos considerados indispensáveis para a capacitação tecnológica da indústria aeroespacial brasileira se destacam: materiais compostos, aeroestruturas supersônicas, engenharia de sistemas, sensores ópticos, termais e por radiofrequência, sistemas de controle de VANTs, sistemas de controle de altitude para satélites, sistemas de navegação inercial e tecnologia de propulsão líquida para veículos lançadores.
- *Regulação*: deveria ser estabelecido um novo regime jurídico (tributário e econômico) que estimulasse o investimento em desenvolvimento tecnológico por parte das empresas aeroespaciais brasileiras. Essa nova regulação também deveria promover um maior vínculo entre essas empresas e os institutos de pesquisa. Quanto à formação de recursos humanos, o ITA, em conjunto com as universidades e faculdades de tecnologia, deveria propor as necessárias alterações nos cursos já existentes e a criação de novos cursos (técnicos, graduação, pós-graduação e extensão) que priorizassem a capacitação tecnológica.
- *Recursos*: os investimentos no desenvolvimento de tecnologia militar e espacial, assim como as pesquisas pré-competitivas em áreas estratégicas, deveriam ser totalmente financiados com recursos públicos não reembolsáveis, estabelecidos no orçamento federal. Quanto aos investimentos em projetos civis do setor aeronáutico, deveriam ter um financiamento público altamente subsidiado. A FINEP e o BNDES deveriam criar novas linhas de financiamento específicas para o desenvolvimento tecnológico da indústria aeroespacial. Em nível estadual, a recém-criada Agência Paulista de Promoção de Investimentos e Competitividade (Investe São Paulo) também deveria contribuir com o financiamento das pesquisas pré-competitivas.

3.3.4. Núcleo Dinâmico de Empresas

As proposições políticas apresentadas a seguir visam preservar e fortalecer a empresa líder da indústria aeroespacial brasileira, além de promover a criação de novas empresas bem sucedidas, através do avanço do processo de consolidação:

- *Coordenação*: os processos de consolidação da indústria aeroespacial deveriam ser coordenados de pelo Ministério da Defesa (MD) em conjunto com os Ministérios da Ciência e Tecnologia (MCT), do Desenvolvimento (MDIC), do Planejamento (MPOG), da Fazenda (MF) e da Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE). Por sua vez, o BNDES seria o órgão executor da política de reestruturação patrimonial da indústria aeroespacial brasileira. O primeiro objetivo seria o de preservar a Embraer, a empresa que responde por aproximadamente 80% das receitas da indústria aeroespacial brasileira, como uma empresa nacional. Dessa forma, é importante que as limitações ao capital estrangeiro continuem vigentes e, em caso de necessidade, o governo federal utilize as prerrogativas dadas pela *golden share* para evitar um *take over* hostil. Com relação ao processo de consolidação, inicialmente, a ação pública teria por objetivo a fusão entre empresas que apresentam elevada complementaridade e, a longo prazo, deveria evoluir para a constituição de grandes conglomerados aeroespaciais de capital nacional.
- *Regulação*: deveria ser estabelecido um novo regime jurídico que favorecesse as operações de fusões e aquisições consideradas estratégicas, de forma que estas teriam incentivos tributários, além de não sofrerem eventuais restrições dos órgãos de controle da concorrência. O governo federal, através do Ministério da Defesa, teria ações do tipo *golden share* nas empresas aeroespaciais estratégicas para o país. Como no caso da Embraer, esse instrumento seria utilizado para se manter o controle estatal sobre os programas e tecnologias de interesse nacional, além de vetar a desnacionalização dessas empresas. A utilização de ações *golden share* também facilitaria na coordenação das operações de consolidação da indústria. Por fim, o governo deveria utilizar as licitações regulatórias como instrumento de seleção e fomento de empresas líderes na indústria aeroespacial.
- *Recursos*: o BNDES deveria fornecer os recursos necessários para a concretização das operações de consolidação consideradas estratégicas e utilizar a BNDES Participações (BNDESPar) para capitalizar as empresas recém-criadas em troca de uma participação acionária. Por fim, o BNDES deveria utilizar recursos do FSB para financiar a internacionalização das empresas líderes da indústria aeroespacial brasileira.

4. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS EM BIOTECNOLOGIA

Esta seção baseia-se na NT de Maria da Graça Derengowski Fonseca sobre biotecnologia.

4.1. Dinâmica Global do Investimento

4.1.1. Analisando a Biotecnologia como uma Indústria Baseada na Ciência

Do ponto de vista prático, a biotecnologia compreende uma coleção de procedimentos e tecnologias que operam sobre os atributos das células ensejando que as moléculas, o DNA e as proteínas venham a trabalhar para certos fins pretendidos (BIO, 2005). No entanto, o seu desenvolvimento incorporou novas conotações, o que vem tornando a *biotecnologia moderna* cada vez mais tributária do avanço científico. Desta forma pode-se dizer que há uma *biotecnologia tradicional*, conhecida há milhares de anos pela humanidade, e uma *biotecnologia moderna*. A *biotecnologia tradicional* refere-se ao uso de organismos vivos para desenvolver produtos ou implementar processos e não está necessariamente ligado aos novos desdobramentos científicos. O core científico da *biotecnologia moderna* foi inaugurado em 1953, quando os biólogos James Watson e Francis Crick identificaram a *estrutura de hélice dupla* do DNA, uma das maiores façanhas da história da ciência. Estas novas descobertas mudaram radicalmente o sentido da pesquisa em biotecnologia, e do seu conjunto de ferramentas tecnológicas tradicionais – tecnologias e procedimentos empíricos conhecidos desde o início da civilização, para transformá-las em num dos campos mais promissores da ciência e da indústria. No entanto, este novo conhecimento ganhou uma nova dimensão em 1973, quando o geneticista Stanley Cohen, da Universidade de Stanford, e o bioquímico Herbert Boyer, da Universidade da Califórnia, conseguiram recombinar segmentos de DNA para obter configurações desejadas e inseri-las em células de bactérias, que passariam a ser usadas como *fábricas* para proteínas específicas. Neste sentido pode-se dizer que a biotecnologia moderna nasceu de fato no início dos anos 70.

A partir daí, a técnica do **DNA recombinante** (gene *splicing*, engenharia genética ou recombinação genética) inaugura a moderna biotecnologia juntamente com os procedimentos científicos e tecnológicos para produzir anticorpos monoclonais, desenvolvidos por Milstein e Kohler (Cambridge) em 1975, reconhecida como tecnologia do hibridoma, além do *engineering* de proteínas.

Do início dos anos 70 até os anos 80, o sucesso das inovações biotecnológicas passa a ser conhecido também no mundo dos negócios. Os avanços que deram aos cientistas a capacidade de manipular genes começam a despertar o interesse de investidores de capital de risco. Ainda em 1980 alguns acontecimentos dão à recém-criada indústria de biotecnologia um alento importante. O primeiro, em Junho de 1980, é a famosa decisão sobre o caso judicial *Diamond X Chakrabarty* em que a Suprema Corte dos Estados Unidos decide a favor da concessão de patentes para formas de vida desenvolvidas por engenharia genética, resolvendo a primeira grande questão relativa aos direitos intelectuais de propriedade referente à comercialização de conhecimentos, produtos e serviços da biotecnologia.

Neste período as empresas de biotecnologia atuavam basicamente na área científica, uma vez que a maior parte de seus gastos era dirigida para as atividades de P&D. Em 1982 a primeira droga desenvolvida através de biologia molecular, a insulina recombinante *Humulin*, foi aprovada para uso por diabéticos. O lançamento deste medicamento também inaugurou um tipo de colaboração entre a indústria de biotecnologia e a indústria farmacêutica que se tornaria padrão para a colaboração entre empresas dedicadas e corporações: o desenvolvimento de uma droga terapêutica por uma empresa de biotecnologia, a Genentech, e a sua comercialização por outra corporação farmacêutica, a Eli Lilly.

A indústria de biotecnologia é intensiva em pesquisa. Boa parte desta pesquisa é realizada nas universidades e laboratórios públicos e pequenas empresas através de convênios ou como prestação de serviços. Grandes corporações da indústria farmacêutica e de sementes realizam próprias pesquisas (in-house) em biotecnologia em seus laboratórios de pesquisa. As principais áreas de pesquisa biológica são:

- Engenharia Genética (biologia molecular);
- Genômica: estudo da estrutura e função dos genes através de seu papel no crescimento do organismo, saúde, resistência a doenças etc ;

- **Proteômica:** estudo da estrutura, função e interações das proteínas através do seu papel no crescimento do organismo, saúde, resistência a doenças etc;
- **Bioinformática:** aplicação da tecnologia de software no processo de criação, coleção, estoque e uso eficiente das informações genéticas;
- **Pharming:** produção de farmacêuticos (ou produtos intermediários usados na sua produção) em plantas geneticamente modificadas;
- Drogas terapêuticas fabricadas e métodos terapêuticos diferentes da síntese química.

De acordo com Zang&Patel (2005), a indústria de biotecnologia abrange:

- Companhias farmacêuticas que se especializam em pesquisa genética, desenvolvimento terapêutico de proteínas e anticorpos, bem como na fabricação de drogas terapêuticas e vacinas com base nas técnicas de biotecnologia moderna;
- Empresas agroindustriais que desenvolvem e produzem bens geneticamente modificados;

Companhias que aplicam técnicas de engenharia genética à produção industrial e gestão do meio ambiente.

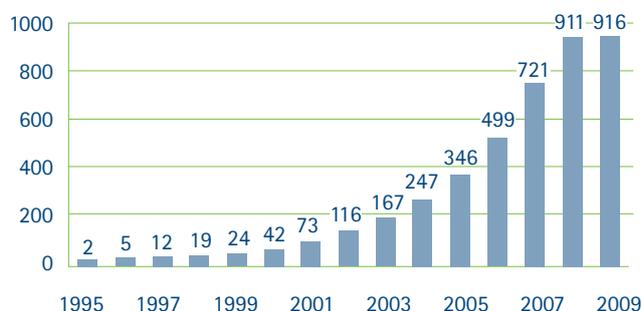
A lista anterior deveria ser completada com a inclusão de empresas que prestam serviços de biotecnologia, empresas de bioinformática, entre as quais empresas de genome chips e empresas de equipamento de genotipagem.

4.1.2. Indicadores de C&T&I: Sequenciamentos, Publicações e Patentes

Em novembro de 2009, 815 projetos de sequenciamento de genomas em todo o mundo tinham sido completados, como se pode ver na Figura 4.1. Mais de 3000 projetos estão em andamento, com 5.908 sequências genômicas identificadas de 866.591 genes de organismos celulares, de acordo com o *Genome on Line Database* de Janeiro de 2009, o que vem proporcionando uma extraordinária base de dados para o desenvolvimento da pesquisa básica e para aplicações em biotecnologia moderna.

Na lista dos países mais eficientes em genômica, os Estados Unidos aparecem em primeiro lugar, com 74% do total dos sequenciamentos à frente do Reino Unido, França, Alemanha, Japão, Canadá, Brasil, China e do Consórcio Internacional do Genoma. Este último grupo reúne dez países em conjunto que são responsáveis por dois por cento dos projetos genômicos em todo o mundo.

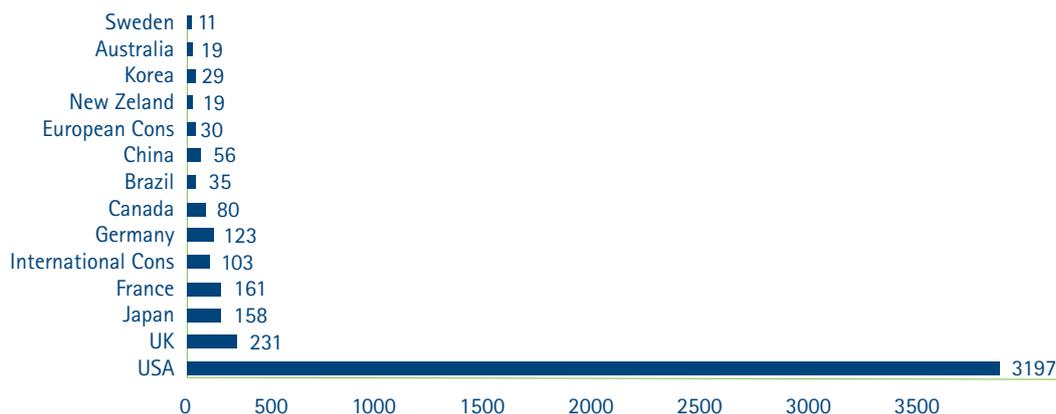
Figura 4.1 - Genomas Completos: Projetos de Sequenciamento



Fonte de Dados Originais Analisados: *The Genomes on Line Database*, 2007 consultado em 01/2009

Desde o início dos anos 2000, o Brasil está na seleta relação dos dez maiores sequenciadores de GENOMA – em nono lugar – perdendo liderança para outros países, uma vez que aparecia na quinta posição no começo da década, quando ficava atrás apenas dos Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha e Japão.

Figura 4.2 - Genomas: Número de Projetos por Países (2009)

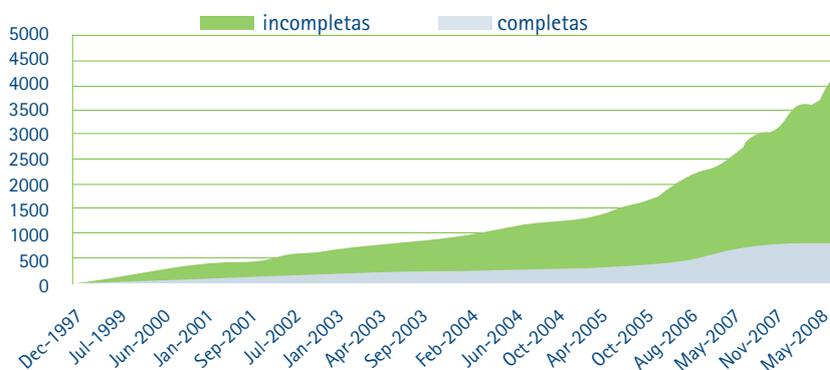


Fonte de Dados Originais Analisados: The Genomes on Line Database, 2009, consultado em 1/2009.

Esta perda de eficiência é também evidente dentro dos países BRICS. Em 2005 o Brasil tinha 58% dos projetos genoma entre os países BRICS e, em 2008, cai para 43%. De forma quase simétrica, a China no mesmo período, passa de 37% para 49%. Entre os países que se destacaram nesta área entre 1995 e 2008 encontram-se Nova Zelândia (com crescimento de 103% ao ano), Canadá (87% ao ano), Austrália (60% ao ano) e Dinamarca (50% ao ano). No entanto estes são países que partem de uma menor base inicial de projetos sequenciados. A seguir vêm os Estados Unidos (com crescimento de 48% ao ano) e o Reino Unido (46% ao ano), países que já se encontravam na liderança dos sequenciamentos de 1995-2008⁵².

⁵² Nota-se que tanto os Estados Unidos como o Reino Unido já tinham um número significativo de projetos no início da série analisada, 545 o primeiro e 45, o segundo. A China (com nove) e o Brasil (com 14) tinham menos projetos. O Brasil mais que dobrou o número de sequenciamentos entre 2005 e 2007, passando de 14 para 34 projetos.

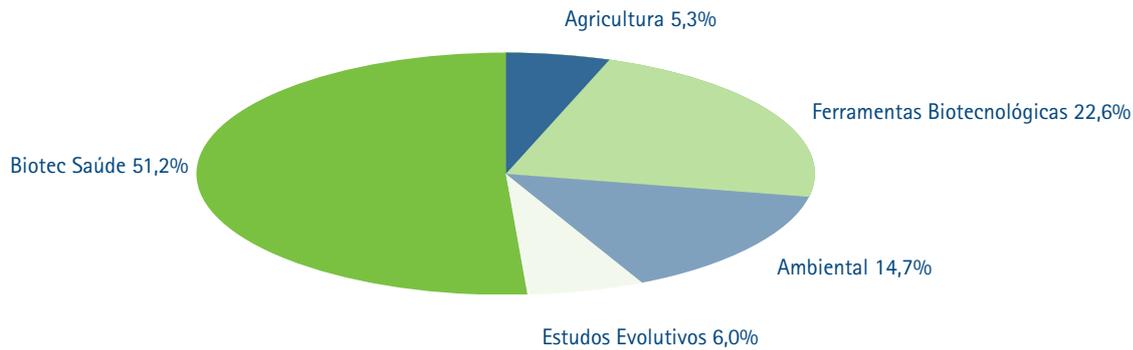
Figura 4.3 - Sequenciamento mundial de genomas- seqüências completas e incompletas (jan 2009 - 4370 genomas)



Fonte de Dados Originais Analisados: The Genomes On Line Database consultado em 01/2009

Apesar de estarem claramente estruturados como projetos de C&T, os alvos econômicos dos projetos Genoma conseguem ser definidos com bastante clareza pela comunidade científica. A maior parte dos Genomas está ligada às áreas de Saúde Humana, que continuam a motivar boa parte das pesquisas em sequenciamentos, com 51% do total. A seguir aparecem os projetos identificados como de (aplicações) em Biotecnologia, com 23% do total. Observe-se que esta última categoria pode ser diretamente relacionada a aplicações industriais (e em outros setores industriais), especialmente nos países em que a indústria de biotecnologia está mais estruturada. Isto é, a categoria refere-se aos avanços tecnológicos que são mais claramente identificados com os desdobramentos econômicos e de mercado; em outras palavras, refere-se à **inovação biotecnológica**. Apenas 5,3% do total de sequenciamento vincula-se a finalidades agrícolas. O número de projetos com relevância ambiental vem aumentando e chega a 15% em 2009. Cerca de 6% são de Genomas associados a estudos e aplicações em Genética Evolutiva (análise da evolução de espécies e populações).

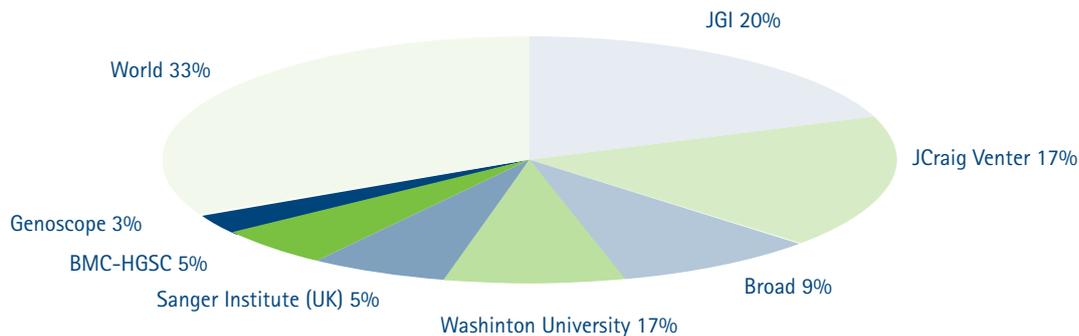
Figura 4.4 – Todos Genomas Sequenciados Por Área de Relevância (1997-2009)



Fonte de Dados Originais: The Genomes On Line Database; consultado em 01/2009.

Os maiores Centros de Sequenciamento Mundiais são apresentados na Figura 4.5, com destaque para o JGI, ligado ao Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) e para o Instituto Craig Venter, (JCVI), anteriormente Consórcio TIGR, hoje um importante laboratório privado de pesquisa na área de biotecnologia molecular e genômica.

Figura 4.5 - Genoma Mundial - Maiores Centros de Sequenciamento



Fonte de Dados Originais: The Genomes on Line Database (01/2009);

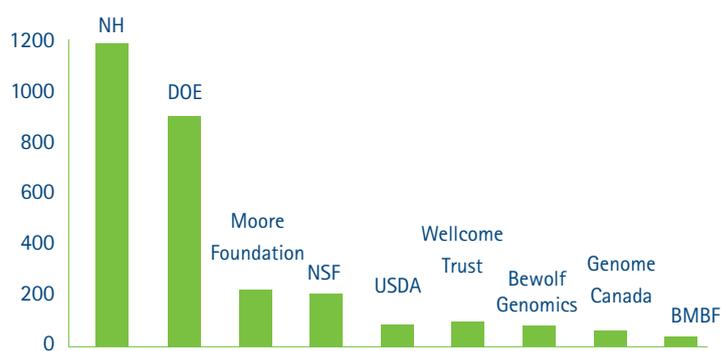
World = todos os demais Centros não mencionados explicitamente.

Apenas os dois centros (JGI e JCVI) são responsáveis pela realização das pesquisas em 37% dos Genomas, em escala mundial. Observe-se que estes dados estão baseados apenas em número de projetos e não correspondem diretamente ao tamanho real do número de bases sequenciadas, uma variável importante, porém mais difícil de monitorar (Lioios et al., 2007).⁵³ A participação dos dois centros nos Genomas de bactérias é ainda maior, chegando a 43%.

Os projetos de sequenciamento representam um típico exemplo de colaboração internacional em biotecnologia moderna. Nos últimos anos, os sequenciamentos de genomas têm sido realizados em grandes consórcios e a pesquisa genômica nesta área mostra-se bastante concentrada em poucos institutos, uma vez que 92% dos projetos são financiados pelo NIH, o *National Institute of Health*, *US Department of Energy*, DOE, *Moore Foundation*, o NSJ e o USDA (*US Department of Agriculture*). A Figura 4.6, abaixo, traz uma relação dos grandes financiadores de GENOMAS, apresentados pelo número de projetos de sequenciamentos financiados.

⁵³ Segundo o autor, em 2007 existiam 2.609 Projetos Genomas de Bactérias. No entanto há 2.976 genomas sequenciados de bactérias. Associados a estes, foram identificados 2.806.078 genes de bactérias. Os Genomas de seres mais complexos, Eukaryota, somam 610, com 2.806 genomas sequenciados e 1.756.856 genes identificados.

Figura 4.6 - Maiores Financiadores Por Número de Projetos – 2009



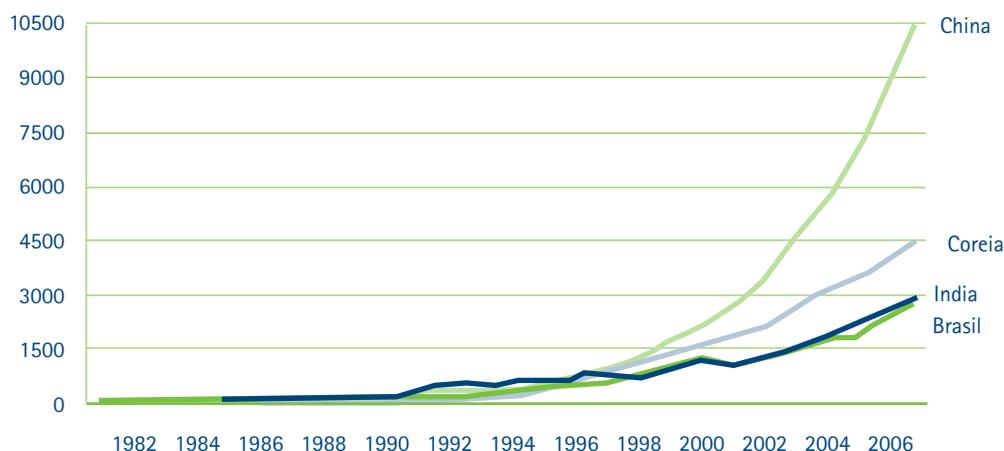
Fonte de Dados Originais: pesquisa sobre 4370 Projetos de Sequenciamento Genômico consultados no The Genomes on Line Database (01/2009); World = todos os demais Centros não mencionados explicitamente.

Mais do que qualquer outro país, os Estados Unidos mostram liderança na sua capacidade de transferir a sua capacitação científica e tecnológica para a comercialização de inovações biotecnológicas. Contribuem para isso não só os recursos dirigidos à pesquisa básica – aqui avaliados através da análise do sequenciamento genômico – mas também à grande população de firmas de biotecnologia existentes naquele país e a existência de alguns mecanismos de incentivos federais e regionais, como os programas de apoio à inovação em pequenas empresas.

Alguns países em desenvolvimento, em especial Índia e China, mostram participação expressiva em citações científicas (vigésima e décima terceira alocações no ranking, respectivamente) e em patentes (décima sétima e décima colocações, respectivamente). O que mais surpreende, no entanto, é o aumento de 49% e 30%, respectivamente, no número de submissões de patentes de biotecnologia da Índia e da China entre 1995 e 2006, logo à frente de Coreia e Rússia (22% e 20%). Este desempenho reflete o grande esforço realizado por estes países na área de educação científica, esforço em boa parte possibilitado pelo gigantesco número de bolsas concedidas para os estudantes e pesquisadores se qualificarem em ciência na Europa e América do Norte (incluindo o Canadá).

Os indicadores acadêmicos também podem ser avaliados por meio de publicações na área de biotecnologia moderna, onde o subconjunto de países BRIC (Brasil, Rússia, China e Índia), além da Coreia, vêm se destacando nos últimos 20 anos, a saber. No caso do Brasil, suas publicações na área de biotecnologia de base molecular e genômica nos últimos 20 anos (1988-2008) aumentaram à taxa de crescimento geométrico de 27% ao ano, menos do que o crescimento das publicações da China e da Coreia. Neste mesmo período, as publicações mundiais na área de biotecnologia aumentaram à taxa de 18% ao ano.

Figura 4.7 - Publicações de Biotecnologia Molecular e Genômica em Países Seleccionados (China, Índia, Coreia e Brasil)



Fonte de Dados Originais: Thomson Scientific Essential Science Indicator (elaboração de dados feita pelos autores)

O aumento das publicações indica um razoável grau de amadurecimento destes países na área científica da Biotecnologia Moderna. Observe-se que o aumento destas publicações pode não se consolidar em termos de patentes ou de inovações tecnológicas.

⁵⁴ Dados referem-se a patentes de biotecnologia moderna e tradicional

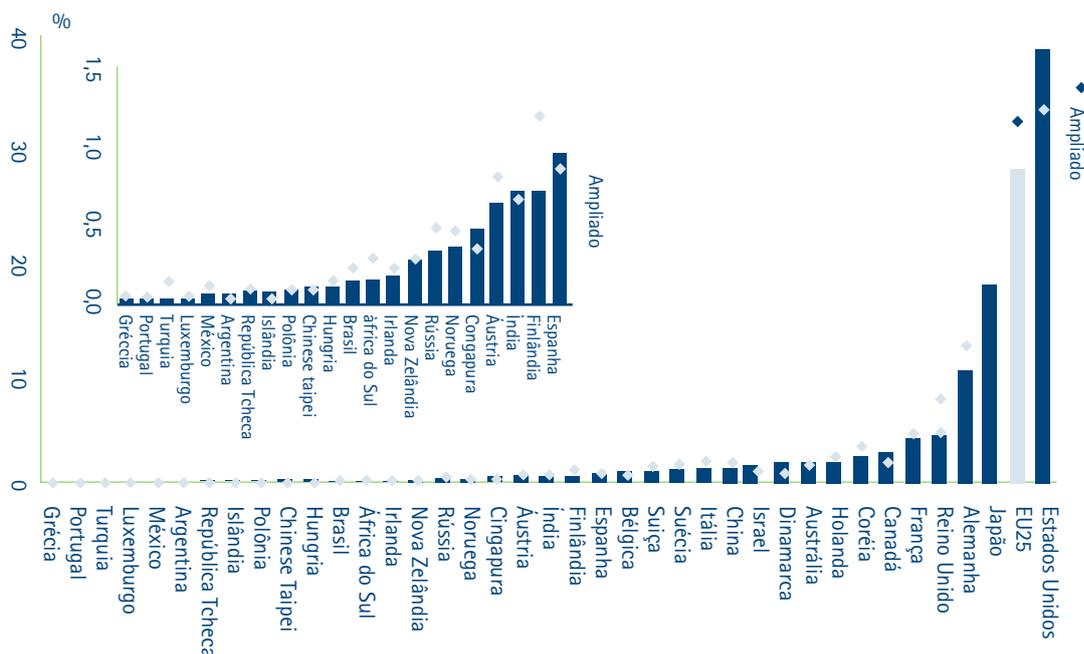
No caso da biotecnologia, é importante chamar atenção para alguns critérios de classificação e também questões de direitos de propriedade. Em primeiro lugar, as definições de patentes de biotecnologia têm conotações bastante diferentes das demais, e estas variam ao longo de países e blocos de países, de acordo com o contexto institucional e regulatório de cada país. Nos Estados Unidos a abordagem sobre direitos de propriedade é mais flexível que na Europa, e a regulação de patentes, bastante liberal. Esta regulação reflete, em parte, a imensa demanda de pedidos de depósitos de patente recebido pelo USPTO.

No caso da biotecnologia os Estados Unidos permitem o patenteamento do todo, ou partes, de um ser vivo. No entanto, a pré-condição para a aceitação do pedido de patentes, tanto na Europa (EPE) como nos Estados Unidos (USPTO), é o reconhecimento que uma substância é nova ou não tenha sido, até então, reconhecida.

No caso das patentes genômicas, a descoberta de um gene pode ser a base para uma patente, se permitir uma composição genética isolada de seu estado natural e se puder ser processada, por meio de etapas de purificação (USPTO, 2001 *apud Lage*, 2007). Já o Escritório de Patentes Europeu (EPE) não reconhece patentes de substâncias que ocorram livremente na natureza. No entanto, se a substância encontrada na natureza for isolada de seus meios, e isso estiver relacionado a um processo para a sua obtenção, então este processo é patenteável.

No que se refere ao número de patentes, usando-se dados da OECD, percebe-se que as patentes de biotecnologia em todo o mundo cresceram mais rapidamente do que os outros tipos de patentes, como se pode ver abaixo.⁵⁴ Entre 1991 e 2002, as patentes de biotecnologia registradas pelo Escritório aumentaram 8,3% ao ano, enquanto o total de patentes cresceu a taxas anuais de 5,7%. Os dados mais recentes mostram um leve declínio, o que pode estar relacionado a questões de restrições regulatórias e comerciais, especialmente na Europa. Esse padrão também é observado em outros países que possuem grande *portfolio* de patentes de biotecnologia. A Figura 4.8 mostra uma comparação entre a participação de cada país da OECD no total de patentes com a participação de cada país no total de patentes em biotecnologia para o ano de 2004.

Figura 4.8 - OECD - Participação no Total de Patentes em Biotecnologia por País e Participação no Total de Patentes TCP em 2004 (1)



Fonte: OECD, Patent Database, 2004.

1. Aplicações de patentes ligadas ao Tratado de Cooperação de Patente (TCP), em fase internacional, designando o EPE;

Obs: a contagem de patentes é baseada na data de prioridade, no país de residência do inventor e em contagens fracionais.

Os Estados Unidos têm 33% das patentes aplicadas no TCP (losango), mas sua participação no total de patentes de biotecnologia corresponde a 38,9% do total de patentes (coluna azul escura), como se pode observar na Figura 4.8. No caso da União Europeia, a participação no total de patentes é de 32,3% (losango), mas as patentes da UE em biotecnologia correspondem a 28,2% do total de patentes.

4.1.3. Padrões Competitivos e Investimentos em P&D

De acordo com informações da Ernest&Young (2007), existem 4.275 empresas de biotecnologia na Europa, Ásia-Pacífico, Estados Unidos e Canadá. Destas, 710 são de capital aberto, geram receitas de US\$73,4 bilhões de dólares (US\$ 8 bilhões em 1992) e investem US\$28 bilhões em atividades de P&D. As empresas de capital aberto representam 17% das 4.275 firmas em todo o mundo. Incluindo-se todos os tipos de companhias, e não apenas as de capital aberto, a América do Norte (Estados Unidos e Canadá) tem 1.917 empresas de biotecnologia e emprega 138 mil pessoas. Ainda segundo a mesma fonte, os países da Europa possuem 1.621 companhias que empregam cerca de 40 mil pessoas. A região da Ásia-Pacífico emprega 13 mil pessoas em 737 empresas.

Nos Estados Unidos está localizada a vertente mais importante da indústria de biotecnologia, uma vez que as suas empresas geram 75% do total das receitas mundiais e são responsáveis por cerca de 80% dos gastos em P&D (Ernest&Young, 2007). Segundo estas fontes existem 1.452 empresas de biotecnologia nos Estados Unidos, das quais 336 (23%) são de capital aberto, empregando 131 mil pessoas. Se forem incluídas as empresas de ciência da vida, uma categoria mais ampla de classificação, o número de empregados passa para 1,3 milhões de pessoas.

Figura 4.9 - Indústria de Biotecnologia nos Estados Unidos
Indicadores-econômico-financeiros

Indústria de Biotecnologia	2006	2004	2002	1998	1994	%
Vendas de produtos (US\$bilhões)	45,3	33,3	24,3	14,5	7,7	18%
Receitas(US\$bilhões)	55,5	46	29,6	20,2	11,2	16%
Investimentos em P&D(US\$bilhões)	22,9	19,8	20,5	10,6	7	13%
P&D/Receitas	41%	43%	69%	52%	63%	
Perdas Líquidas(US\$bilhões)	3,5	6,4	9,4	4,1	3,6	0%
Empresas Públicas	336	330	318	316	265	2%
Empresas Públicas + Privadas	1452	1.444	1.466	1.311	1.311	1%
Número de Empregados(mil)	131	186	195	155	103	5%
Gastos de P&D/Empregado(US\$mil)	150	106	105	68	68	

Fonte: Ernest&Young Beyond Borders(2007); *Taxa de Crescimento Anual (2006-1994)

As receitas geradas pelas empresas de biotecnologia financiadas pelo capital privado tiveram uma expansão de 16% ao ano apenas nos Estados Unidos desde 1994, passando de US\$11 para US\$55 bilhões. Os investidores privados aportaram em 2006 recursos à indústria da ordem de US\$ 28 bilhões (sendo que US\$5,4 bilhões através de *venture capital*), 42% a mais do que no ano anterior, representando o segundo maior montante de investimentos desde 2000, quando ocorreu a chamada "bolha da biotecnologia". Os recursos privados aportados entre estes dois anos aumentaram em 38% nos Estados Unidos, 47% na Europa e impressionantes 79% no Canadá. As 374 empresas de capital aberto existentes no resto do mundo, incluindo as da Europa, geram US\$18.020 milhões em receitas, dos quais 44% estão na Europa.

Figura 4.10 - Europa: Indicadores Econômico-financeiros (2004-2005)

Indústria de Biotecnologia	Firmas de Capital Aberto			Total da Indústria		
	2005	2004	%	2005	2004	%
Receitas (m)	7.922	6.787	17%	11.694	10.694	7%
Investimentos P&D (m)	2.650	2.171	22%	5.350	4.672	15%
Investimentos P&D/Receita	33%	32%		46%	44%	
Perdas Líquidas (m)	1,6	0,7	131%	3,4	2,5	41%
Número de empresas	122	101	21%	1.613	1.664	-3%
Número de Empregados (mil)	33	29	14%	67	65	3%
Investimentos P&D / Empregados (mil)	79	74		79	72	

Fonte: Ernst&Young, 2006; €m = milhões de Euros

A história da indústria de biotecnologia farmacêutica está fortemente ligada ao processo de transformação da indústria farmacêutica.

As empresas de biotecnologia incorrem em consideráveis despesas de P&D por empregado o que, de acordo com o estudo da Ernest & Young (2007), acarretaria uma baixa realização de lucros contábeis na indústria de biotecnologia. A Figura 4.11 apresenta uma comparação entre os gastos em P&D realizados pelos onze maiores conglomerados farmacêuticos e as onze maiores empresas de biotecnologia com base nos Estados Unidos. A análise dos indicadores financeiros das empresas é bastante expressiva, uma vez que as vendas/receitas do grupo na Figura 4.11 representado representam cerca de 60% das vendas da indústria farmacêutica e cerca de 50% na indústria de biotecnologia. As empresas de biotecnologia Amgen e a Genentech podem ser alinhadas com as gigantescas corporações farmacêuticas em termos de receita e de capitalização de mercado, como pode ser visto onde são comparados dados financeiros do grupo das maiores empresas da indústria farmacêutica com dados das maiores empresas de biotecnologia. As empresas estão alinhadas em ordem decrescente de acordo com os ganhos capitalizados no mercado de ações e não por vendas (Ver Tabela 4.11, adiante).

Figura 4.11 - Receitas e Gastos Em P&D de Empresas Farmacêuticas e de Biotecnologia

Empresas	Receitas	No. de Empregados	P&D	Receita/ Emp	P&D/Rec	P&D/Imp
Farmacêutica	US\$bil	Mil	US\$ bil	US\$ mil	%	US\$ mil
Pfizer	51,3	115,0	7,4	446,1	15%	64,7
Sanofi Aventis	33,8	99,7	4,8	338,7	14%	47,7
Glaxo S.Kline	37,3	100,0	5,4	372,7	14%	54,0
Merck	22,0	62,0	3,8	355,0	17%	62,1
J&J	50,7	109,0	6,4	464,7	13%	58,9
Novartis	32,5	91,7	4,8	354,7	15%	52,8
Astrazeneca	24,0	60,0	3,4	399,2	14%	57,2
Abbot	22,3	59,7	1,8	374,0	8%	30,5
Wyeth	18,8	49,7	2,8	377,1	15%	55,3
Eli Lilly	14,6	44,5	3,0	329,1	21%	68,0
Bristol Squibb	19,2	43,0	2,7	446,7	14%	63,9
Total	326,4	834,4	46,5	391,2	14%	55,7
Biotecnologia	US\$bil	Mil	US\$ bil	US\$ mil	%	US\$ mil
Amgen	12,0	14,3	2,3	840,7	19%	161,8
Genentech	6,6	7,6	1,3	867,5	19%	165,1
Serono	2,6	4,7	0,5	544,4	21%	115,6
Biogen Idec	2,4	4,3	0,7	557,2	31%	174,2
Gilead Science	2,0	1,8	0,3	1.127,8	14%	154,4
Genzyme	2,6	7,0	0,7	371,0	29%	107,0
Chiron	0,6	5,4	0,4	113,7	71%	80,4
Sepracor	0,8	2,1	0,1	398,7	18%	70,4
Medimmune	1,2	1,9	0,4	654,7	34%	221,6
Celgene	0,5	0,9	0,2	568,9	36%	202,3
Biovail	0,9	2,3	0,1	404,2	9%	35,4
Total	32,4	52,5	7,2	618,6	22%	136,9

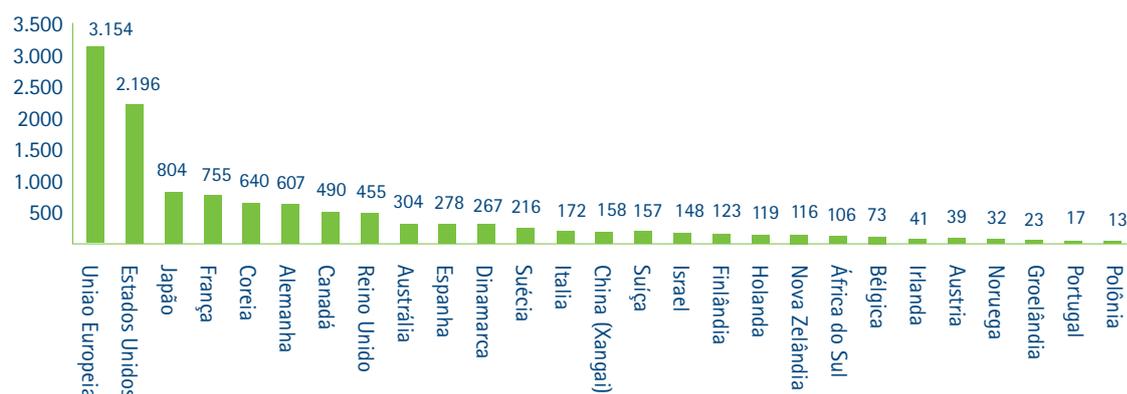
Fonte de Dados Originais: Security Exchange Commission (2006); US\$bil (=US\$bilhão)

Em anos recentes grandes corporações "convencionais" da indústria farmacêutica viram o seu *pipeline* de novas drogas terapêuticas diminuir e passaram a tentar absorver empresas de biotecnologia.

⁵⁵ Observe-se que os dados são diferentes conforme a fonte (e a metodologia utilizada).

Os Estados Unidos conseguem obter também aproximadamente o dobro dos recursos *venture capital* e cerca de dez vezes mais recursos de *equity finance*. Enquanto, ao final dos anos 90, o governo federal dos Estados Unidos gastava em P&D cerca de US\$6 bilhões anuais, em média, aproximadamente US\$3,4 bilhões eram gastos pelos governos dos países da Europa, Austrália e Canadá em conjunto, no mesmo período, de acordo com Senker e Zwanenberg (2000), *apud* Beuzekon e Aruldel, 2003). O mesmo estudo da OECD mostra que os Estados Unidos possuíam o maior número de empresas de biotecnologia, 2.196 empresas, seguido pelo Japão, com 804 firmas e pela França, com 755 firmas. Os países da União Europeia, em conjunto, no entanto teriam 3.154 empresas.⁵⁵

Figura 4.12 - Número de Empresas de Biotecnologia Segundo OECD (2003)

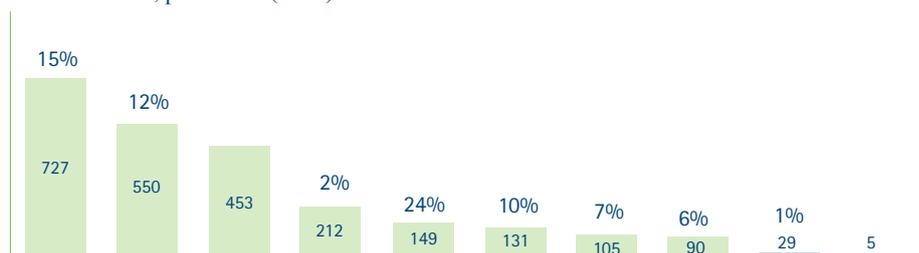


Fonte: OECD-1(2006)

Um dos maiores problemas encontrados nos dados da OECD refere-se à classificação de firmas de biotecnologia. Nos Estados Unidos, Canadá e em alguns outros países, as firmas incluídas na amostra são completamente dedicadas à biotecnologia, as *firmas dedicadas*. No entanto, em vários países são incluídas as *firmas ativas* de biotecnologia, em que apenas uma parte das atividades das empresas são voltadas para a biotecnologia, o que dificulta a comparação.

Os investimentos públicos em P&D, como percentagem dos investimentos totais em P&D, são apresentados nas Figuras 4.13 e 4.14, abaixo. A Coreia apresenta os mais altos níveis de investimentos públicos de P&D em biotecnologia, com US\$ 727 milhões, seguidos pelo Canadá e pela Espanha, com US\$550 milhões e US\$453 milhões. Além disso, a Coreia mostra um aumento de 63% em apenas dois anos, atingindo US\$1.187 milhões, em 2005.

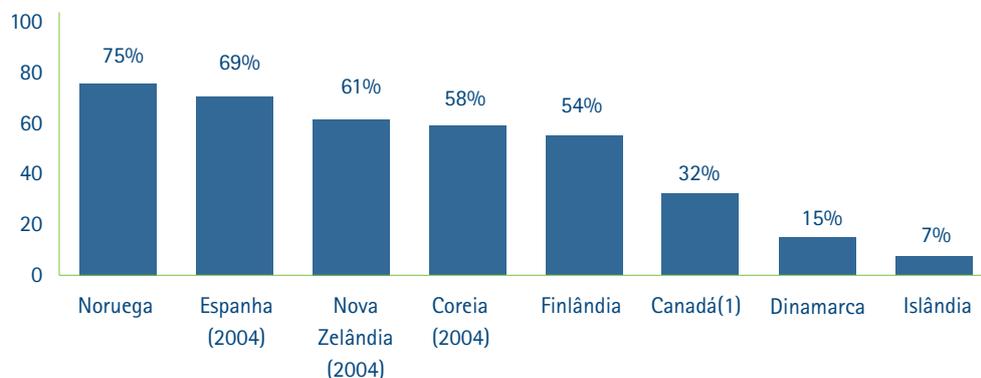
Figura 4.13 - Investimentos de P&D em Biotecnologia Realizados pelo Setor Público e como Participação nos Investimentos Totais de P&D, por Países (2003)



Fonte: OECD-1 (Em US\$ milhões).

Os gastos governamentais em P&D para biotecnologia representam uma medida do interesse dos governos dos diferentes países em biotecnologia. Os dados da Figura 4.13 mostram que os investimentos públicos de P&D em biotecnologia como parte dos investimentos totais de P&D em Biotecnologia da Nova Zelândia representam 24%. Logo a seguir vem Coreia (15%) e Canadá (12%).

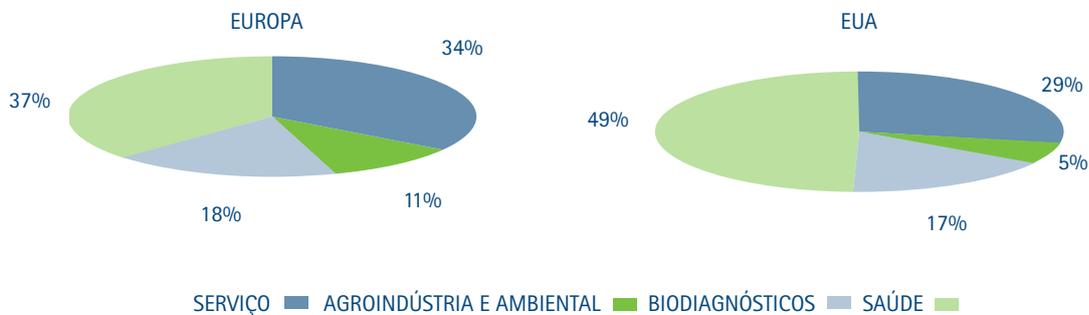
Figura 4.14 - Gastos Públicos de P&D em Biotecnologia como Participação dos Gastos Totais em Biotecnologia (2003)



Fonte: OECD-I

O estudo da OECD-I (2006) oferece mais *insights* sobre a classificação de empresas *por aplicação* de biotecnologia. O principal problema refere-se ao tratamento das companhias de biotecnologia, classificadas como empresas de biotecnologia ativas, empresas apenas parcialmente voltadas para biotecnologia- e empresas (inteiramente) dedicadas à biotecnologia, aquelas cuja competência central – o *core competence* – está associada à biotecnologia.

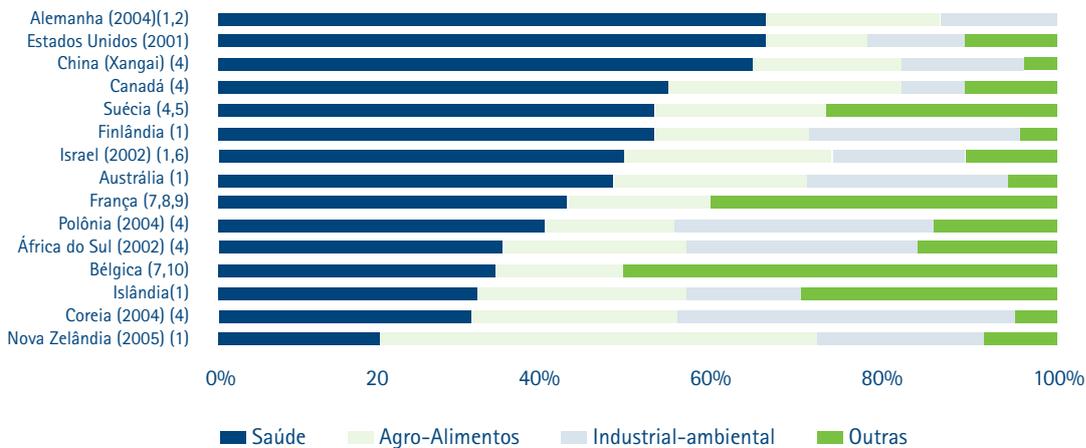
Figura 4.15 - Biotecnologia por Segmento de Mercado



Fonte: Europa Bio- Critical One (2006)

Agregando-se todas as informações sobre empresas de biotecnologia ativas, da Figura 4.16, identifica-se que 51% das firmas de biotecnologia estão voltadas para os mercados de Saúde, humana e animal, seguidas por cerca de 19% de firmas que estão se especializando nos mercados Agroalimentares. Outros 15% de empresas estão voltados para o processamento industrial, recursos naturais e aplicações ambientais e mais 15% nas atividades classificadas como **Outros**.

Figura 4.16 - Participação das Empresas de Biotecnologia por Atividade (2003)



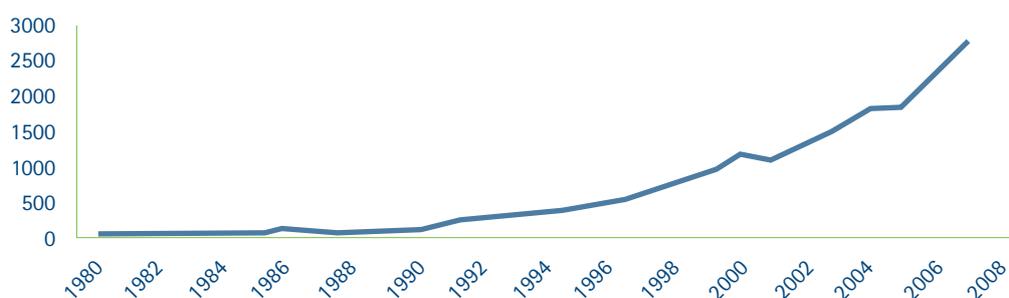
Fonte: OECD I, 2006.

4.2. Tendências do Investimento no Brasil

4.2.1 Indicadores De C&T&I: Publicações, Patentes e Sequenciamentos

A Figura 4.17 retrata a ampliação do número de publicações do Brasil em biotecnologia molecular entre 1980 e 2006, confirmando a sua eficiência em transformar os recursos aplicados em pesquisa básica de natureza acadêmica em artigos.

Figura 4.17 - Brasil: Publicações de Biotecnologia Moderna no Brasil (1980-2008)⁵⁶



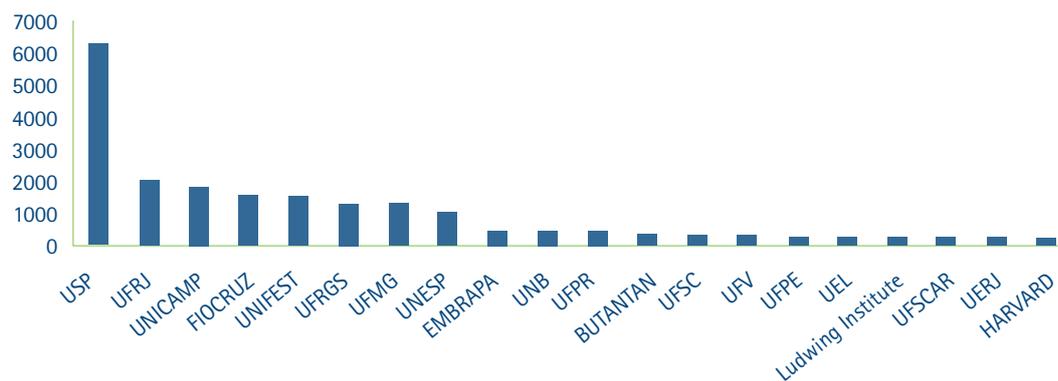
Fonte de Dados Básicos: SCI-EXPANDED-Thomson (consultado em 1/12/08)

A busca na mesma base de publicações mostra que 97% dos artigos em biotecnologia moderna produzidos por pesquisadores brasileiros estão publicados em inglês. Outros 2,4% estão publicados em português e o restante, em espanhol e alemão. A maior parte dos artigos brasileiros são publicados em parceria com autores dos Estados Unidos (21,2%), seguidos por parcerias com França (4,6%), Inglaterra (4,6%), com a Alemanha (3,8%), com o Canadá (2,5%), com a Argentina (1,9%), com a Itália (1,9%), com Espanha (1,8%), Holanda (1,7%) e Japão (1,7%). Parcerias com autores da Bélgica, Austrália, Portugal, Suíça, Escócia, Suécia, México, Colômbia, Venezuela, Chile, Dinamarca, África do Sul, Israel e Rússia aparecem em outras 2,4% de publicações de brasileiros sobre biotecnologia.

⁵⁶ Biotecnologia definida em torno dos blocos de competência da biologia molecular, genética e genômica como definido no início deste trabalho. Não está incluída a biotecnologia tradicional

Como seria natural esperar, autores vinculados a universidades brasileiras estão entre os que mais publicam artigos relacionados à área de biotecnologia moderna, no caso do Brasil. Além disso, destacam-se as publicações de autores que pertencem a laboratórios públicos como os da EMBRAPA, FIOCRUZ, Instituto Butantan ou aos laboratórios articulados nas redes de pesquisa do GENOMA, como o Ludwig Institute (Genoma do Câncer). Observe-se também que há brasileiros publicando artigos através de universidades e instituições de outros países. Estes constituem cerca de 12% do total dos artigos publicados na área de biotecnologia molecular.

Figura 4.18 - Instituições Líderes de Publicações de Brasileiros em Biotecnologia Moderna (20 Maiores)



Fonte de Dados Básicos: SCI-EXPANDED (consultado em 1/12/08)-breakdown em 15.946 artigos

Outra base de dados importante, mais abrangente do que a classificação deste Relatório, uma vez que inclui a biotecnologia tradicional, é a do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPQ. Segundo o CNPQ, em 2006 havia 2.130 grupos de pesquisa de biotecnologia no Brasil, 10% do total de 21.024 grupos de pesquisa existentes no país, e 4.719 linhas de pesquisa, 6% das linhas de pesquisa (www.cnpq.br)⁵⁷. Numa análise sobre a mesma base de dados, Júde e Vedovello (2007) analisam as principais informações sobre os grupos de pesquisa de biotecnologia por região, destacando as informações sobre patentes (Quadro 4.1).

⁵⁷ As linhas de pesquisa dos grupos são relacionadas com atividade. Cada linha de pesquisa pode ser relacionada com até três atividades diferentes.

Quadro 4.1 - Grupos de Pesquisa em Biotecnologia no Brasil (2004-2006)

Research areas	2002					2004				
	Brazil	Southeast	SP	MG	RJ	Brazil	Southeast	SP	MG	RJ
	Total n.o	% of total of groups Brazil				Total n.o	% of total of groups Brazil			
Biotechnology	1342	48,29	22,88	13,56	11,62	2013	48,09	23,35	13,02	11,48
Genomics	619	58,97	37,48	11,79	9,69	1026	56,35	34,60	10,62	10,53
Proteimics	49	67,35	44,90	8,16	14,29	188	63,83	27,13	14,89	21,81
Pharmaceuticals	614	54,07	34,53	9,93	9,45	9750	54,77	32,10	8,21	14,15
Pharmacogenomics	2	100,00	50,00	50,00	0,00	26	50,00	7,69	23,08	19,23
Pharmagenetics	19	63,16	26,32	26,32	10,53	45	60,00	26,67	22,22	11,11
Biopharmaceuticals	40	62,50	17,50	40,00	5,00	50	68,00	18,00	36,00	14,00
Vaccines	438	63,01	31,96	13,24	17,58	643	62,21	32,81	11,35	18,04
Molecular diagnostics	181	66,85	41,44	12,71	12,71	290	64,83	39,66	11,38	13,45
Plant genetics	1158	45,51	19,00	17,01	9,07	1693	44,12	20,32	15,30	7,97
Biodiversity	592	41,89	18,92	11,09	10,64	923	40,74	18,53	12,24	9,53
Bioremeditation	154	52,60	23,38	11,04	18,18	295	56,16	24,75	13,22	18,31
Animal Genetics	880	48,18	23,98	15,80	7,92	1326	49,10	24,81	14,71	9,20
Immunology	735	61,36	28,98	14,42	17,82	1050	59,14	27,62	15,33	15,90
Biomaterials	263	69,58	44,87	15,21	8,75	454	65,86	43,83	13,44	8,15
Toxinology	37	81,08	62,16	5,41	13,51	62	67,74	48,39	11,29	8,06
Recombinant vaccines	178	65,17	29,21	20,79	15,17	268	65,67	31,34	22,01	12,31
Stem cells	116	70,69	50,00	5,17	15,52	339	66,67	46,61	7,08	12,68
Biodisel	49	40,82	20,41	0,00	20,41	221	46,61	18,55	5,88	22,17
International publication biotechnology	1216	49,51	24,01	13,49	11,84	1857	49,17	24,02	13,30	11,58
Patentes and product registration biotechnology	195	64,62	29,74	17,95	16,92	426	58,45	28,17	18,31	11,97

Fonte: Júde e Valdovello (Reprodução)

Segundo as autoras, os dados têm que ser analisados com certo cuidado uma vez que há certa ambiguidade nos itens "*patents and/or registration*". Na realidade, não há certeza sobre se eles são patentes, registros de produtos ou marcas. Por outro lado, eles têm a vantagem de estar diretamente associados à pesquisa. Segundo as autoras, além de mostrar um pequeno incremento na categoria "patentes e/ou" em biotecnologia, a pesquisa mostra a Universidade de Campinas na liderança destas patentes, seguida pela UFMG.

Levantamento realizado pelos autores deste Relatório sobre depósitos de pedidos de patentes em biotecnologia mostram participação modesta dos pedidos encaminhados por brasileiros, com apenas 222 pedidos em comparação com um total de 7.121 depósitos de pedidos encaminhados entre 1974 e 2008, pouco mais de três por cento do total de depósitos de patentes ao INPI no mesmo período, 7.121 patentes. A Figura 4.19, abaixo, mostra a evolução anual dos depósitos de pedidos de patentes.

Figura 4.19 - Biotecnologia Moderna no Brasil: Número de Depósitos de Pedidos de Patentes no INPI - Depósitos de Brasileiros e todos os Depósitos (1974/2005)



Fonte dos Dados Originais Analisados: Tabulações Especiais do INPI em 12/2008

Breakdown em 7.075 pedidos totais de patentes e 194 para pedidos de patentes de brasileiros devido à exclusão dos registros de 2006, 2007 e 2008 (em 2006 o total de pedidos totais de patentes é 37; em 2007, 8; em 2008, apenas um)

O Brasil tem 33 patentes publicadas nos Estados Unidos nas áreas de RNA e DNA, engenharia genética ou de mutação, enzimas ou células microbianas imobilizadas em um "sistema", enzimas (composições, preparação ou purificação), vírus (composições, preparação ou purificação), células e tecidos humanos (animais e vegetais, e cultivo), formação e isolamento de esporos, microrganismos e seu cultivo. Cerca de metade destas patentes tem inventores nacionais e 25% são patentes detidas apenas por brasileiros. De 1976 até 2004, 24 patentes foram depositadas naquele país. Os principais detentores de patentes nos Estados Unidos, segundo o INPI são a UFMG (5), a FIOCRUZ(4), a Petrobrás (4), a EMBRAPA (2) e a UNB (sendo uma com a Biobrás e outra com a Biom).

A eficiência de qualquer país em biotecnologia moderna atualmente está fortemente articulada aos conhecimentos científicos que constituem o "núcleo duro" do bloco de competências nesta área, em especial a área de biologia molecular e genômica, como já destacado. A aquisição de capacidades científicas em biotecnologia molecular não tem sido, em geral, um problema para o país, apesar de haver uma certa dispersão de recursos, uma vez que o Brasil vem investindo em formação de recursos humanos nesta área, como parte de sua política científica e tecnológica. Neste sentido, o Brasil conta, atualmente, com um bom contingente de cientistas e pesquisadores com boa qualificação voltados para a área de biologia molecular e está dotado de bons laboratórios, com boa infraestrutura e equipamentos modernos, especialmente em São Paulo e Minas.

A aquisição de capacitação na área de biologia molecular e genômica está bem documentada por publicações como as Silveira, Dal Poz (2005) e Assad (2005) e Júdice e Vedovello (2007). O sucesso do Brasil nesta área pode ser atribuído a uma combinação de apoio governamental (federal e estadual), resumida no capítulo de política, e de um conjunto (pequeno) de ações empreendedoras na iniciativa privada, o que pode ser verificado pela expansão das publicações de autores brasileiros no entorno da biologia molecular, genômica e proteômica.

O Brasil está na seleta relação dos dez maiores sequenciadores de GENOMA desde o início do novo milênio. De fato, em 2000, o país foi anunciado como o quinto maior sequenciador pela revista *Nature* (Julho 2000) ficando atrás apenas dos Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha e Japão. Porém, o país não está na relação daqueles em que o sequenciamento genômico mais cresce. A China tinha menos projetos que o Brasil em 2005 (nove na China e 14 no Brasil) mas atualmente ultrapassou o Brasil (40) que foi rebaixado para o nono lugar com os 35 projetos em 2008. No entanto, o Brasil mais que dobrou o número de sequenciamentos entre 2005 e 2007, passando de 14 para 34 projetos (34% a.a.). Entre os países do BRICS, em 2005 o Brasil tinha 58,3% dos projetos genoma realizados dentro deste bloco de países, passando para 43,2% em 2008. De forma quase simétrica, a China no mesmo período, passa de 37,5% para 49,4%. O quadro adiante apresentado mostra os Genomas Brasileiros (Quadro 4.2). Observe-se que o Quadro não inclui todas as participações de instituições e pesquisadores nacionais em projetos Genoma internacionais.⁵⁸

⁵⁸ Este é o caso do sequenciamento completo do genoma bovino desenvolvido em parceria com pesquisadores da EMBRAPA, USP e UNESP e recentemente concluído.

As iniciativas do sequenciamento genômico no Brasil articularam-se, inicialmente, em torno da Rede ONSA, (*Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis*), um instituto virtual de genômica - moldado à semelhança do Instituto TIGR, dos Estados Unidos - que reuniu 30 laboratórios em rede ligados a instituições de pesquisa do Estado de São Paulo (www.fapesp.org.br).

Quadro 4.2 - Genomas Brasileiros

Organismo	Tipo	Mercados	Instituição	Financiamento
Bos indicus	EST	Agriculture Animal Pathogen	ESALQ/USP	
Bradyrhizobium japonicum	Genome	Agriculture	Embrapa	
SEMIA 5079		Biotechnological		
Chromobacterium violaceum	Genome	Commercial inoculant		
		Human Pathogen	Brazilian Genome	CNPq
ATCC 12472		Antibiotic production		
		Biotechnological	Univ of Campinas	Embrapa/Cafe
Coffea arabica	Genome	Energy production		
				FAPESP
Corynebacterium pseudotuberculosis	Genome	Medical	Univ Federal de Minas Gerais	FAPEMIG
1002		Animal Pathogen		
Eimeria acervulina	EST		Univ of Sao Paulo	
Eimeria maxima	EST		Univ of Sao Paulo	
Eimeria tenella	EST		Univ of Sao Paulo	
Eucalyptus grandis	EST		FAPESP	
Gluconacetobacter diazotrophicus	Genome	Agricultural	LNCC/MCT	CNPq
			UENF	MCT
PAL5			AGROBIOLOGIA	FAPERJ
			UERJ	
			UFRJ	
Herbaspirillum seropedicae	Genome	Biotechnological	Genopar Consortium	
Z67				
Leifsonia xyli xyli	Genome	Plant Pathogen	Univ of Campinas	FAPESP
CTCB07		Agricultural		
Leishmania chagasi	EST		ProGeNe	CNPq
				MCT

Organismo	Tipo	Mercados	Instituição	Financiamento
				BNB
<i>Leptospira interrogans</i> Copenhageni	Genome	Medical	Univ of Campinas	CNPq
		Human Pathogen	Univ of Sao Paulo	FAPESP
Fiocruz L1-130		Animal Pathogen		
<i>Litopenaeus vannamei</i>	EST		Univ Federal de Sao Carlos	CNPq
<i>Moniliophthora perniciosa</i>	Genome	Agriculture	Univ of Campinas	SEAGRI
CPO2 (FA553)		Plant Pathogen		
<i>Mycobacterium</i>	Genome	Medical	FAP	
bovis BCG		Animal Pathogen		
Moreau RDJ		Cattle Pathogen		
		Human Pathogen		
<i>Mycoplasma hyopneumoniae</i>	Genome	Animal Pathogen	LNCC	
7448		Medical	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
<i>Mycoplasma hyopneumoniae</i>	Genome	Medical	LNCC	
J			Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
<i>Mycoplasma synoviae</i>	Genome	Animal Pathogen	LNCC	
		Chicken Pathogen	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
53		Medical		
<i>Paracoccidioides brasiliensis</i>	Genome	Medical	Univ of Brasil	CNPq
Pb01 ATCC-MYA-826		Human Pathogen	Federal Univ of Goias	CT BRASIL
<i>Pichia (Hansenula) angusta</i> (polymorpha)	Genome	Biotechnological	Univ of Campinas	
		Protein production		
<i>Rhizobium tropici</i>	Genome	Agriculture	Embrapa	
PRF 81				
<i>Saccharum</i> sp.	EST	Agriulture	Univ of Campinas	FAPESP
<i>Schistosoma mansoni</i>	EST		ONSA	FAPESP
Soil	Metagenome		Univ Federal de Santa Catarina	
microbial communities from contaminated sediments				CNPq
<i>Trypanosoma rangeli</i>	EST	Medical	Univ Federal de Santa Catarina	CNPq
SC-58, Choachi		Animal Pathogen		
<i>Xanthomonas</i>	Genome	Agricultural	FAPESP	FAPESP
<i>axonopodis</i> pv. <i>aurantifolii</i> B		Plant Pathogen	Univ of Sao Paulo	
11122				
<i>Xanthomonas</i>	Genome	Agricultural	FAPESP	FAPESP
<i>axonopodis</i> pv. <i>aurantifolii</i> C		Plant Pathogen	Univ of Sao Paulo	
10535				
<i>Xanthomonas</i>	Genome	Agriculture	FAPESP	FAPESP
<i>axonopodis</i> pv. <i>citri</i>		Plant Pathogen	Univ of Campinas	
XV101, 306			Univ of Sao Paulo	
<i>Xanthomonas campestris campestris</i>	Genome	Agriculture	FAPESP	FAPESP
ATCC 33913		Plant Pathogen	Univ of Sao Paulo	
<i>Xanthomonas</i>	Genome	Agricultural	FAPESP	FAPESP
<i>smithii citri</i>		Plant Pathogen	UNICAMP	

Organismo	Tipo	Mercados	Instituição	Financiamento
			Univ of Sao Paulo	
Xylella fastidiosa	Genome	Agriculture	Univ of Campinas	USDA
Pierce's Disease Strain		Plant Pathogen		FAPESP
Xylella fastidiosa CVC	Genome	Agriculture	ONSA	FAPESP
8.1.b clone 9.a.5.c		Plant Pathogen		
Xylella fastidiosa-grape	Genome	Agriculture	AEG Brazilian Consortium	USDA
Temecula1		Plant Pathogen		FAPESP

Fonte: Gold, Genomes OnLine Database (consultado em 12/2008)

O objetivo da FAPESP ao apoiar a Rede Genoma era o de proporcionar capacitação de recursos humanos e financiar a instalação de laboratórios que permitissem o sequenciamento de DNA, identificação de genes e manutenção de bases de dados, fortalecendo o núcleo disciplinar em torno de áreas que são hoje geradoras das informações básicas em genômica e proteômica.

Dal Poz, Fonseca e Silveira (2004) descrevem e analisam como o GENOMA São Paulo conseguiu vincular diversos tipos de atores num desenho de rede que privilegia o aproveitamento das competências dos diferentes participantes e apresentam como esta experiência foi replicada em âmbito federal e estadual. O primeiro sequenciamento genômico no Brasil, em 1997, foi realizado em parceria com a Fundecitrus, instituição privada que representa os produtores de cítricos do Estado de São Paulo. O Projeto Genoma Xylella (PGX) teve como objetivo combater um fitopatógeno causador da doença *clorose* variegada do *citrus*, que causava perda de 23% na produção de laranja e derivados no estado de São Paulo. O projeto original recebeu US\$15 milhões de dólares (sendo 3,2% do setor privado), sequenciou 2,7 milhões de pares de bases nitrogenadas e envolveu 32 laboratórios públicos e de universidades daquele estado.

Além deste projeto, foram desenvolvidos também mais quatro Projetos Genoma, todos envolvendo agricultura: Genoma Xanthomonas, causador do cancro cítrico, o Genoma Funcional da Xylella, o Genoma da Cana-de-Açúcar (SUCEST) e o *Agronomical and Environmental Genomes*. Na área da saúde foram desenvolvidos o Genoma Humano do Câncer e seus subprojetos: Expressão Gênica, Genoma Clínico e Genoma Transcriptoma, o Genoma da Diversidade Genética de Vírus e Genoma Estrutural (Id,lb). O GENOMA Biota foi lançado em 1999 para mapear e analisar a biodiversidade, incluindo fauna, flora e microorganismos. Esta aliança inclui 500 pesquisadores de São Paulo e em 2001 lançou o SINBITO, Sistema de Informação Ambiental.

O Genoma SUCEST, da cana-de-açúcar, incorporou grupos de pesquisa de outros cinco estados (incluindo Pernambuco e Alagoas, também produtores de cana-de-açúcar) e uma empresa belga de biotecnologia, a Crop Design. De especial importância no Genoma da Cana são os estudos de *data-mining* em diferentes seres vivos, que evita a duplicação de esforços de pesquisa na identificação de genes relacionados ao crescimento, tolerância ambiental e resistência à doenças. Esta metodologia permite reconhecer regiões do DNA capazes de gerar ferramentas e aplicações em biotecnologia de grande importância econômica (id.ib.).

Os Genomas Xylella e SUCEST criaram *spinoffs* importantes, entre os quais os mais importantes foram a Allelyx e a Canvialis, empresas *startups* de biotecnologia criadas por professores universitários, entre os quais encontra-se um dos líderes de publicações na área de biotecnologia, o professor da UNICAMP, Paulo Arruda. Do ponto de vista institucional, foram criados centros de inovação biotecnológica, entre os quais se destacam: Centro Antônio Prudente para Tratamento do Câncer, Centro de Biotecnologia Molecular e Estrutural, Centro de Estudos sobre o Genoma Humano, Centro de Tarpas da Célula e o Centro de Toxologia Aplicada (Judice e Vedovello,CGEE,2007).

Com base na experiência paulista foi criada a Rede do Genoma Brasileiro, que associa 25 laboratórios e foi implementada pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e pelo CNPQ, além de outros órgãos e instituições de caráter local. Um destes projetos é o do sequenciamento do *Chromobacterium Violaceum*, bactéria eficaz não só no tratamento de algumas doenças endêmicas, como a Doença de Chagas e a Leishmaniose, mas que também apresenta potencial para a produção de plásticos. As redes de Genoma Regionais foram estabelecidas nos mesmos moldes das anteriores. Dela fazem parte a Rede Centro-Oeste (sequenciamento do fungo *Paracoccidioides Brasiliensis*), Genoma Nordeste-ProGene (sequenciamento da *Leishmania Chagasi* e busca de vacina de DNA ou de proteína e descobrimento de novas drogas).

O Projeto Genolyptus e o Genoma do Eucalipto são programas complementares do ponto de vista de seus objetivos. O primeiro foi basicamente financiado pelo MCT e pela parceria entre doze empresas privadas (que aportaram 30% dos recursos), sete universidades com a EMBRAPA. Seu objetivo é dirigido para a obtenção de ganhos de produtividade na produção industrial do Eucalyptus, redução da poluição industrial e aumento da competitividade do mercado brasileiro de madeira, papel e celulose. O projeto Genolyptus está associado a pesquisadores da EMBRAPA e PUC-Brasília que fundaram uma empresa, a Hereditas. O Projeto Genoma do Eucalipto foi coordenado pela FAPESP em consórcio com quatro empresas (Votorantim, Ripasa, Suzano e Duratex) e envolveu 20 laboratórios de pesquisa.

As redes de projetos do Genoma Regional ajudaram a integrar oito redes de sequenciamento de DNA. É importante ressaltar que estas redes vêm contribuindo de modo marcante para a capacitação de profissionais em várias regiões do país e para a consolidação de competências em biologia molecular em todas as regiões envolvendo 54 grupos de pesquisa, totalizando cerca de 260 pesquisadores (Assad e Aucélio,2005).

Ao contrário do sucesso na área de biotecnologia tradicional, os bons resultados científicos alcançados na área genômica não podem ser atribuídos diretamente às políticas orientadas pelo governo federal sendo função de um conjunto de eventos e iniciativas, em parte motivadas pelo poder público federal, em parte como ações descentralizadas. Mais do que isso, o que realmente moldou a construção de uma base de competências da biotecnologia moderna brasileira foi um conjunto de circunstâncias resultantes da uma combinação de iniciativas descentralizadas do poder central, a criação das Redes de Genomas em São Paulo e dos CEPIDs (Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão) e de um importante polo de biotecnologia em Minas Gerais, a Biominas. Observe-se que as duas situações contemplam diferentes soluções de *funding* e de governança corporativa. Em São Paulo, a maior abundância de recursos de capital financeiro é consequência do sucesso da FAPESP em transferir recursos para a pesquisa e para a inovação. Em Minas, decorre de uma singular e bem sucedida arrumação de competências em torno de um polo regional de C&T&I em biotecnologia.

Entre elas destacam-se a Rede Paulista dos Projetos GENOMA, desenvolvida a partir das ações de fomento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), cujo modelo de pesquisa, através de redes virtuais de pesquisa, foi posteriormente difundido para o âmbito nacional, através das Redes de Genoma Nacional e Regional. No caso da Biominas o pioneirismo resultou em boa parte de uma combinação de aportes de recursos financeiros federais e estaduais, principalmente da FAPEMIG. Estas duas iniciativas foram favorecidas, se bem que de forma um pouco mais difusa, pelos recursos aportados para o desenvolvimento da biotecnologia através de fundos federais relacionados a programas específicos, como os fundos do PADCT e os Fundos Setoriais. Estas duas iniciativas geraram alguns dos mais importantes *spinoffs* do Brasil, as empresas Alellyx e Canavialis, em São Paulo e a Biobrás (1976-2003), em Minas Gerais. As primeiras foram adquiridas recentemente pela Monsanto e a Biobrás foi adquirida por uma empresa da Dinamarca.

Além das duas iniciativas citadas, não se pode deixar de mencionar as agências inovadoras e institutos de pesquisa nacionais, que atuam como instituições-chave em pesquisa (Silveira, Dal Poz e Fonseca, 2005), e estaduais, entre os quais estão a EMBRAPA e seu centro de biotecnologia, o CENARGEM, Centro Nacional de Recursos Genéticos e Biotecnologia, o complexo de pesquisa e produção FIOCRUZ-BIOMANGUINHOS, no Rio de Janeiro e o Butantan, em São Paulo, responsáveis pela melhor tradição da pesquisa nas áreas de ciências da vida, agricultura e saúde. Além destas iniciativas, pode-se mencionar a nucleação do conhecimento de biotecnologia em torno de algumas universidades brasileiras e de seus parques científicos e incubadoras, como a BioRio, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, e o Centro de Biotecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Os Estados do Paraná e Rio Grande do Sul elaboraram Programas Estaduais de Pesquisa em Biotecnologia e promoveram a criação de centros de pesquisa atuantes em P&D&I em biotecnologia. As principais iniciativas foram o Centro de Biotecnologia do Rio Grande do Sul/UFRGS, em Porto Alegre, o Centro de Biotecnologia de Joinville,⁵⁹ o Centro de Biologia Molecular do Paraná, associado ao TECPAR, em Curitiba, o Centro de Biotecnologia/BIOAGRO da Universidade de Viçosa/MG e, recentemente, o Centro de Biotecnologia da Amazônia.

A outra vertente da biotecnologia no Brasil orientou-se para a criação de polos regionais avançados de pesquisa, incubadoras e *science-parks*, como os da Fundação BIOMINAS de Minas Gerais e o Bio-Rio, no Rio de Janeiro, criada em 1992 por nove empresas, entre as quais a Biobrás, cujos modelos baseiam-se na promoção de pequenas e micro empresas. O estado de Minas Gerais tem 74 *empresas de bio-ciências*, das quais 52 estão situadas em Belo Horizonte segundo (Judice and Soares, 2004). Em decorrência de suas competências, o Estado de Minas Gerais foi um dos pioneiros em biotecnologia, ao lado do estado de São Paulo.

A Biobrás, a primeira empresa de biotecnologia no Brasil, foi criada em 1976 como um *spin-off* do Departamento de Bioquímica do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, depois que um dos seus fundadores retornou do seu programa de doutorado nos Estados Unidos e foi apoiado pela Rockefeller Foundation, que lhe concedeu recursos para montar, implantar e equipar seu laboratório de enzimas na própria Faculdade de Medicina da UFMG. Do governo estadual de Minas Gerais e do governo federal, foram obtidas bolsas de estudo e de pesquisa para engenheiros químicos. As pesquisas iniciais estavam voltadas para a área de fermentação de processos e produção de enzimas (Júdice&Vedovello, 2007).

A partir daí, até tornar-se realmente uma empresa emergente, a Biobrás tornou-se uma formadora de mão-de-obra qualificada com apoio de bolsas de pesquisa e de ensino do governo federal e estadual. Com o aporte técnico da Hidroservice, uma empresa de engenharia, a Biobrás torna-se uma empresa *start-up* e, logo depois, com apoio dos incentivos fiscais concedidos pela SUDENE para empresas situadas em área carentes, a Biobrás deixa Belo Horizonte e desloca-se para Montes Claros.

A associação com a Eli Lilly representou um importante avanço técnico para a Biobrás, que passou a receber aportes tecnológicos para a produção de insulina da unidade de Indianópolis. É a partir desta parceria que a empresa mineira passa a produzir insulina animal, entrando no seletivo mercado de diabetes e adquirindo qualificação para realizar testes de diagnósticos e para comercializar (Júdice e Valovello, 2007). Em 1990, a Biobrás tornou-se uma empresa de capital aberto e iniciou as pesquisas necessárias para qualificar-se como produtora de insulina humana recombinante. Em 1998, ela deposita, junto com a UNB, uma patente no USPTO (a quarta patente mundial em insulina recombinante a ser depositada naquele mercado). Em 2003, ela é adquirida pela Novo Nordisk. A experiência da Biobrás não acaba por aí, pois a partir de seu pioneirismo, outras empresas foram criadas, a saber: Biofar; Bioferm, In Vitro, Biobrás Software; Dialab e Biomm, esta última dividida entre Miami (Biomm Inc.) e a Biomm S/A, no Brasil.

O estado do Rio de Janeiro também é um polo relevante de geração de conhecimento na área de biologia para saúde devido à presença da Fiocruz, com suas competências específicas na área de epidemiologia e imunologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e com o seu parque bioindustrial, a BioRio. Este parque foi fundado em 1988 e atualmente hospeda 23 empresas de biociências, dez das quais incubadas e instaladas no prédio da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O Centro de Biotecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (CBIOT) foi criado em 1981 por meio de um convênio assinado entre o Governo Estadual, o Banco de Desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Sul, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande

⁵⁹ O Centro de Biotecnologia de Joinville foi uma parceria com o governo da Alemanha que montou boa parte da infraestrutura do Centro (incluindo equipamentos). Este centro recebeu apoio do PADCT e do Programa RHAIE embora nunca tenha operado. As causas deste insucesso ainda estão para ser analisadas pelos analistas da política de C&T. O Centro de Biotecnologia da Amazônia também não pode ser considerado um caso de sucesso, embora ele esteja funcionando.

do Sul (FAPERGS) e a UFRGS (Viana da Cunha, 1998). Além do apoio estadual o Centro recebeu forte apoio da FINEP. O CBIOT prioriza ações de formação de recursos humanos para P&D em biotecnologia e em projetos de vinculação Universidade-Empresa (www.cbiot.ufrgs.br). O Centro atua na área de genética e biotecnologia molecular, diagnósticos, saúde humana e animal produção de enzimas toxológicas e biomonitoramento (Fonseca, Dal Poz e Silveira, 2005).

⁶⁰ Diretório Nacional de Empresas de Biotecnologia 2001, Fundação Biominas.

O CBIOT foi responsável pela criação de um polo de bioindústria no Rio Grande do Sul e gerou (diretamente ou indiretamente) dois importantes spinoffs de empresas de biotecnologia, a Simbios e FK. As principais unidades em operação no Rio Grande do Sul são o CENBIOT-Enzimas, grupo de produção de insumos e enzimas com base em conhecimento de biologia molecular e o GENOTOX, que atua em consultoria industrial-ambiental.

Além do Centro de Biotecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (C-BIOT), o Instituto de Biotecnologia da Universidade do Rio Grande do Sul, de Caxias do Sul, atuava em estreita ligação com pequenos produtores agrícolas e com o agronegócio do vinho naquele estado (id.ib).

4.2.2. Padrões Competitivos e Estruturas de Mercado

Um primeiro indicador da importância da biotecnologia pode ser aferido a partir da pesquisa realizada com a PINTEC-IBGE em 35 setores industriais, sobre a importância das informações em biotecnologia que podem ser repassadas pelas universidades para os estabelecimentos industriais. Dos 35 setores CNAE (classificação a três dígitos) analisados, apenas quatro declaram não ser necessário obter informações de universidade referente ao uso de biotecnologia. Outros quatro atribuíram importância muito pequena a estas informações. Ainda em outros sete setores estas informações têm baixa importância. Em oito setores, as informações de biotecnologia vindas de universidades despertam interesse moderado mas em doze atribui-se grande importância à biotecnologia (Ver Tabela 7.2).

O primeiro levantamento sistemático sobre ciências da vida e de biotecnologia no Brasil foi feito em 2001 a pedido do MCT e, na sua abrangência metodológica, considerava todas as empresas de ciências da vida como empresas de biotecnologia. Partindo de diretório de empresas preparado pela ABRABI em 1995, a BIOMINAS identificava naquela ocasião 304 empresas de biotecnologia no Brasil estando 129 em São Paulo, 89 em Minas Gerais e 28 no Rio de Janeiro (Judice e Vedovello, CGEE, 2007).⁶⁰ Quanto à localização geográfica, 81% das empresas são da região Sudeste: 42% se localizam no estado de São Paulo, 29% em Minas Gerais e 9% no Rio de Janeiro. Ainda segundo as estimativas desse estudo, a bioindústria no Brasil teria faturado um valor entre US\$2,3 a US\$3,9 bilhões em 2000. Quanto à geração emprego, a BIOMINAS estimava por volta de 28 mil postos de trabalho, uma média de 91 postos por empresa, com a seguinte distribuição:

- Micro empresas: 74% (225 empresas de biociências empregam de um a 49, ou seja, uma média de 25 pessoas cada, totalizando 5.625 postos);
- Pequenas empresas: 10% (30 empresas de biociências empregam de 50 a 100 pessoas, uma média de 75 pessoas cada, totalizando 2.250 postos);
- Médias empresas: 6% (18 empresas de biociências empregam de 51 a 500 pessoas, uma média de 275 pessoas cada, totalizando 4.950 postos)
- Grandes empresas: 10% (30 empresas de biociências empregam mais de 500, considerando-se 500 pessoas/ empresa, totalizando 15.000 postos)

Na atualização da pesquisa da BIOMINAS (2007), feita com maior rigor metodológico, foram separadas empresas de biociências das empresas de biotecnologia. Neste caso, a

BIOMINAS identificou 71 empresas de biotecnologia atuando no Brasil. No que se refere à idade, estas empresas são muito novas (3/4 do total têm no máximo dez anos de idade, metade das empresas foram fundadas a partir de 2002 e um quarto a partir de 2005).⁶¹

Cerca de 75% das empresas são micro e pequenas empresas e apresentam faturamento de no máximo R\$1 milhão por ano. São Paulo (42,3%) e Minas Gerais (29,6%) são as unidades da federação com um maior número de empresas de biotecnologia. O Rio de Janeiro tem 6,1% das empresas, o Rio Grande do Sul tem 6,6% das empresas, Pernambuco tem 3,3% das empresas e o Paraná, 2,8%, sendo o restante distribuído por outras unidades da federação. O levantamento inclui também as 71 empresas de biotecnologia, das quais 21 (30%) estão em Minas Gerais, 30 (42%) em São Paulo, 6 (8,5%) estão no Rio de Janeiro e 4 (5,6%), no Rio Grande do Sul. As incubadoras têm papel fundamental e são responsáveis por um crescente número de empresas de biotecnologia no Brasil (32% das empresas de biotecnologia estão em parques científicos e incubadoras).

Do ponto de vista setorial, cerca de 86% das empresas de biotecnologia brasileiras estão associadas a atividades industriais (incluindo agroindústrias), 11,3% a serviços e 2,8% aparecem como atividades mistas. Na distribuição por tipo de atividade, as categorias Agricultura (22,5%) e Insumos (21,1%) são as que apresentam o maior número de empresas. A seguir estariam as categorias saúde humana (16,9%) e saúde animal (18,3%). Apenas 14,1% das empresas estão ligadas a atividades relacionadas ao meio ambiente. A pesquisa identifica 4,2% empresas de bioenergia e 2,8% empresas mistas. Observe-se que boa parte das empresas de biotecnologia meio ambiente e bioenergia poderiam ser agregadas em outras categorias, principalmente insumos e agricultura.

Em relação ao número de empregados, confirma-se o tamanho pequeno das empresas: 32% das empresas tem de um a cinco funcionários; 21,4% de seis a nove funcionários; 25% de 10 a 19 funcionários e 21,4% das empresas têm mais de 20 funcionários. O tamanho das empresas brasileiras também é confirmado pelo seu faturamento anual. Pela pesquisa da Biominas (2007), 57% das empresas têm faturamento anual de no máximo R\$1 milhão e 18% das empresas sequer faturam, o que em se tratando de pequenas empresas de biotecnologia não é surpreendente. Apenas 21,5% das empresas têm faturamento acima de R\$1 milhão; 16,1% com faturamento de até R\$10 milhões e apenas 5,4% com faturamento além destes limites.

Finalmente, 85% das empresas brasileiras de biotecnologia não têm patentes registradas no Brasil, 10% têm apenas uma patente, 2,8% têm duas patentes e 2,8% têm três patentes. Este resultado está muito aquém do encontrado em países em desenvolvimento como Índia e China. O estudo da Biominas aponta, com razão, que isso em parte se deve ao fato de grande parte dos incentivos governamentais terem sido conduzidos a atividades de pesquisa realizada em laboratórios públicos e em universidades, com menor ênfase às empresas (p. 46).⁶² Entre os problemas apontados pelos respondentes foram apontados os seguintes problemas:

- Dificuldade do processo de aquisição de máquinas e equipamentos;
- Falta de profissionais qualificados (ênfase)
- Dificuldade de comercialização (ênfase);
- Dificuldade de obtenção de financiamento (ênfase);
- Questões regulatórias e de propriedade intelectual (grande ênfase).

⁶¹ A diferença deve-se basicamente a uma melhor definição da metodologia utilizada para definir empresas de biotecnologia entre as pesquisas nas duas datas.

4.3. Perspectivas de Médio e Longo Prazos para os Investimentos

Nos países desenvolvidos, especialmente nos Estados Unidos e Canadá, as empresas bem sucedidas de biotecnologia têm uma história associada a agentes financeiros que aportam recursos através de participações (*private equity*) ou de associações de capital de risco (ou *venture capital*). Os agentes do *venture capital* são indivíduos, fundos, empresas, ONGs, que se associam temporariamente aos empreendimentos de alto risco tecnológico e, em grande parte dos casos, também participam da gestão destas empresas aportando não só os recursos financeiros que vão permitir que os investimentos sejam realizados, mas também vão trazer experiência gerencial e governança corporativa, pelo menos até que as empresas de biotecnologia possam passar para uma nova fase, lançando-se como empresas de capital aberto ou sendo incorporadas por outras empresas, em geral corporações ligadas à indústria farmacêutica, de química fina e de sementes. Observe-se que este processo costuma ser incentivado por governos dos países desenvolvidos sob a forma de programas que oferecem estímulos e incentivos a este tipo de associação, em diferentes graus, tal como descrito neste trabalho. A literatura internacional mostra que há em geral dois padrões de financiamentos para as indústrias de base científica, o padrão de governança de mercado e o padrão de governança centralizado (MacKelvey e Orsenigo e Pamolli, 2005 e Fonseca, 2006). O primeiro acompanha os países que desenvolvem inovações radicais, como os Estados Unidos. O segundo está associado a inovações incrementais, como a Alemanha e outros países da Europa Continental.

As oportunidades de investimento no Brasil estão claramente associadas ao sistema de governança misto, que combina as vantagens da orientação e suporte estatal com as oportunidades representadas pelo sistema de mercado. No entanto, mais estudos comparativos precisam ser desenvolvidos, relatando algumas das experiências de financiamento e investimento à biotecnologia em todo o mundo, complementando os estudos introdutórios realizados para o Fórum de Biotecnologia através do CGEE por Fonseca e D'Ávila (2004) e Fonseca (2006).

No que se refere à identificação das áreas de aplicações e mercados, as grandes oportunidades de investimento internacional estão a princípio relacionadas às áreas de saúde e farmacêutica, onde já há uma grande presença de corporações de grande porte associadas com pequenas empresas de biotecnologia. A área ambiental/industrial continua sendo uma promessa em termos de biotecnologia, embora países como a Alemanha venham se esforçando a aumentar os investimentos em pesquisas voltadas para esta área. No caso da biotecnologia agrícola, há consideráveis barreiras não tarifárias adotadas por países da EU e de proteção à produção intrabloco que dificultam a expansão do comércio de produtos transgênicos.

A identificação das áreas de oportunidades de investimento, no caso dos Estados Unidos, está diretamente associada aos maiores programas de apoio à pesquisa básica e aplicada, no caso os programas empreendidos pelo NHI (*National Health Institute*) e pelo DOE (*Department of Energy*). Os recursos do NHI são distribuídos por múltiplas áreas mas, no caso do DOE, grande parte dos recursos são encaminhados para a pesquisa com o álcool e etanol de milho e madeira. O DOE e o NHI, não por acaso, são os maiores financiadores dos consórcios que financiam as pesquisas nacionais e internacionais genômicas.

As grandes oportunidades de mercado para os investimentos em biotecnologia no Brasil, no entanto, estão relacionadas às atividades agroindustriais e de saúde veterinária onde o país já conta com uma base de pesquisa em biotecnologia tradicional muito consistente – e necessária para a expansão da biotecnologia moderna. Além disso, é nesta área que se concentra o grande acervo, e a massa crítica, em termos do conhecimento e da tecnologia desenvolvido por empresas públicas estaduais e federais, como a EMBRAPA e o IAC, em Campinas.

Na área de saúde humana o país conta com a atuação de duas importantes instituições-chave (ver Silveira, Fonseca e Dal Poz, 2005), o complexo FIOCRUZ e o Butantan em São Paulo. De extrema importância são, também, as redes de pesquisa integradas por universidades, agências de pesquisa pública e empresas privadas, como as que foram montadas, em primeiro lugar, em São Paulo, e posteriormente no resto do país, para apoiar a pesquisa em biologia molecular, genômica e proteômica através dos projetos GENOMA. Em alguns casos verifica-se também a existência de bem sucedidos parques tecnológicos e polos de fixação de empresas de biotecnologia, como o da BIOMINAS (MG) e BIO-RIO (RJ).

Mais do que o direcionamento dos recursos públicos para mercados, ou nichos de mercado adequados, o desenvolvimento da biotecnologia moderna no Brasil tem como pré-condição a continuidade, e a expansão, dos investimentos nas áreas de conhecimento básico, os **blocos de conhecimento** anteriormente apontados no levantamento empírico junto às empresas. Entre estes destacam-se os blocos de genômica, proteômica, as biotecnologias de fermentação, as biotecnologias de cultura de célula de tecidos e bioengenharias, a bioinformática e biotecnologia de vetores gênicos, já anteriormente

identificadas. Além das áreas básicas para o desenvolvimento da biotecnologia moderna incluem-se outras, nas quais o país já apresenta vantagens comparativas e competitivas substanciais como a de desenvolvimento de enzimas de interesse agroindustrial em bioetanol, etanol celulósico e os processos de celulose branqueamento. Adicionalmente, poder-se-ia citar os investimentos necessários para extrair, identificar e padronizar de novos metabólicos (fitoterápicos), uma área de grande interesse para empresas brasileiras vinculados ao setor farmacêutico. Ainda na área de saúde humana não se pode deixar de mencionar as oportunidades de investimento na área de vacinas, cujo conhecimento básico no Brasil é desenvolvido pela Biomanguinhos, do Complexo Oswaldo Cruz, no Rio, do Butantan, em São Paulo.

Sem o desenvolvimento do conhecimento e das ferramentas de biotecnologia em torno das áreas básicas mencionadas, o país não terá condições de manter, a longo prazo, uma posição de liderança em termos de inovações em biotecnologia, junto com a China, a Índia e a Coreia. No entanto, o problema não é apenas de falta de orientação do investimento para as áreas básicas da biotecnologia moderna.

A perspectiva de o Brasil contar com uma indústria moderna de biotecnologia depende, em grande parte, de o país estruturar mecanismos adequados de financiamento aos investimentos necessários, de forma a enfrentar o problema do risco tecnológico representado pelos investimentos em biotecnologia moderna. Isto significa que devem ser criadas oportunidades de realização de ganhos financeiros – ganhos proporcionais aos riscos enfrentados – de forma que estes não sejam apenas absorvidos, a fundo perdido, pelo estado brasileiro. Isto também significa criar mecanismos de operações financeiras que absorvam estes riscos tecnológicos e, mais importante, criar instituições para garantir e estruturar estas operações de financiamento ao investimento tecnológico de risco.

No caso do Brasil, entretanto, não só o mercado de ações não se desenvolveu suficientemente de forma a representar uma oportunidade de financiamento ao investimento em empresa de alto risco, como a oferta de capital para o financiamento deste tipo de investimentos é incipiente. Consequentemente, não há ainda outras oportunidades de remuneração ao investimento de alto risco tecnológico, além do que se oferece em processos de aquisição e fusões, o que leva as empresas brasileiras eficientes a serem adquiridas por grandes corporações multinacionais, como ocorreu na aquisição da Biobrás pela Novo Nordisk e, recentemente, da Allelyx e da Canavialis, pela Monsanto.

Uma das alternativas de apoio financeiro encontradas pelas empresas emergentes de biotecnologia é a associação através de associações em redes tecnológicas, cujos objetivos não se limitam à obtenção de recursos para o investimento em inovações. Além do mais, estas redes costumam ser temporárias e muitas vezes são integradas por empresas que, da mesma forma, têm interesse na aquisição do *portfolio* de pesquisas de empresas inovadoras que ainda estejam em estágio de desenvolvimento.

Mais do que isso, como os modelos de investimento de inovações de fronteira mostram, não haverá uma indústria de biotecnologia moderna no Brasil se as pré-condições científicas e tecnológicas não estiverem ligadas ao aparecimento de oportunidades de financiamento privado para pequenas empresas emergentes. Estas oportunidades são tão ou mais importantes do que os tradicionais mecanismos de subvenção e incentivos fiscais.

O cenário da biotecnologia moderna no Brasil é bastante promissor do ponto de vista de sua capacitação científica e tecnológica e dos excelentes recursos de capital humano, em cuja formação de mestrado e doutorado se investiu, oferecendo programas de bolsas de estudos em áreas de ciências da vida, tanto em universidades brasileiras, quanto em grandes universidades do mundo.

Além disso, o país conta com excelentes instituições de pesquisa que desenvolveram e aplicaram ferramentas de biotecnologia tradicional na agricultura – onde o grande exemplo é o CENARGEM/ EMBRAPA – quanto na área industrial farmacêutica e de pesquisa em saúde, como a FIOCRUZ e o BUTATAN. A combinação de recursos humanos com boas instituições de pesquisa garantiu ao Brasil o aumento de suas publicações no core da biotecnologia moderna, mas infelizmente não lhe garantiu patentes.

A grande janela de oportunidade para a biotecnologia moderna, no entanto, abriu-se na década de noventa com a participação do país nos projetos GENOMA e a criação dos institutos virtuais de pesquisa vinculados a outras instituições internacionais. Internamente, articularam-se recursos financeiros e administrativos para atender as necessidades dos pesquisadores. Esta oportunidade surgiu com barateamento dos custos com equipamentos e sistemas em todo o mundo usados nesta área de pesquisa científica. A partir daí surgem os grandes consórcios e associações em redes virtuais entre grupos de pesquisa acadêmicos, instituições do governo e, *last but not least*, para as empresas privadas que ajudaram a orientar as pesquisas para áreas de interesse econômico.

4.4 Proposições de Políticas, Instrumentos e Estratégias Investidoras

A formulação de uma política de apoio ao investimento em biotecnologia no Brasil deve levar em consideração que esta indústria já existe no Brasil, apesar de contar com um núcleo inicial de empresas bem menor do que os primeiros levantamentos indicavam. As empresas de biotecnologia estão concentradas nos estados do Sudeste e do Sul, especialmente São Paulo e em Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, onde também está concentrada a maior parte da pesquisa científica e tecnológica estruturada a partir da montagem de redes de colaboração e de polos de empreendedorismo. No entanto elas ainda são poucas quando se compara, por exemplo, com o estado da Carolina do Norte, nos Estados Unidos, onde estão situadas 500 empresas de biotecnologia empregando, 54 mil pessoas.⁶³

Como já se viu, ao longo do trabalho, os núcleos de biotecnologia paulista e mineira são os que estão mais articulados com biotecnologia moderna, em virtude das competências adquiridas de biotecnologia moderna. Em São Paulo, em particular, aproveitou-se a *janela de oportunidade* internacional aberta através da instalação das redes virtuais de genômica que aproveitam as vantagens da articulação em torno dos grandes consórcios nacionais e internacionais de pesquisa. Estas redes articulam-se fortemente com os principais núcleos acadêmicos da área de biotecnologia articulados em torno de universidades USP, UNICAMP, da UNESP e da Escola Paulista de Medicina. Além disso, São Paulo conta com importantes agências de pesquisa pública na área de biotecnologia tradicional, como o IAC, e provadas, como o Centro de Tecnologia Canavieiro.

O núcleo da biotecnologia mineiro é mais antigo e a articula-se em torno da noção de que as vantagens competitivas serão adquiridas em torno da sua própria base regionalizada. Suas empresas não só souberam aproveitar muito bem as vantagens da localização em torno de polos de desenvolvimento, como também são corresponsáveis por um dos mais importantes polos de biotecnologia no Brasil, a BIOMINAS.

O pequeno núcleo de empresas de biotecnologia do Rio Grande do Sul está em expansão e combina, em menor escala, as vantagens do núcleo paulista e do mineiro tendo, a seu favor, a existência de um sistema industrial e agroindustrial regionalizado, com o qual pode estabelecer uma importante articulação. Suas empresas *startups*, FK e Simbios, principalmente, revelam certa longevidade. O núcleo de empresas de biotecnologia do Rio de Janeiro está, aparentemente, perdendo relevância em relação a outros estados. As razões merecem um estudo mais detalhado, uma vez que o Rio de Janeiro possui algumas das mais importantes universidades brasileiras e centros de pesquisa, como os do Complexo FIOCRUZ, apresentando excelentes índices de publicação acadêmica e boa participação em patentes na área de biotecnologia moderna.

As empresas de biotecnologia instaladas em outros estados não possuem as vantagens competitivas anteriormente mencionadas, mas têm a vantagem de estarem articuladas às bases produtivas de seus estados. No caso de Alagoas, por exemplo, há forte ligação com as pesquisas desenvolvidas na Universidade de São Carlos para a área de cana-de-açúcar e bioetanol. Os ecossistemas da Amazônia e do Cerrado, por sua vez, oferecem um excelente pretexto para a implantação de projetos e de desenvolvimento de polos de pesquisa que reúnam instituições de pesquisa e empresas privadas voltadas para na biodiversidade local, em especial para projetos em biotecnologia ambiental.⁶⁴

Ao contrário do sucesso na área de biotecnologia tradicional, os bons resultados científicos alcançados na área de biotecnologia moderna não podem ser atribuídos diretamente às políticas orientadas pelo governo federal. Este sucesso é função de um conjunto de eventos e iniciativas motivados pelo poder público federal. No entanto, o sucesso também é, em grande parte, motivado por ações descentralizadas e, até certo ponto, autônomas. Deve-se observar que o que realmente moldou a construção de uma base de competências

⁶³ A Carolina do Norte é o terceiro estado americano em termos de número de empresas e investimentos. Há 30 anos o estado era basicamente produtor de têxteis e móveis para o resto do país. O próprio estado investiu cerca de US\$ 1,2 bilhão em biotecnologia nos últimos 10 anos e reformulou o sistema educacional de treinamento e instalação de infraestrutura, segundo a revista *The Economist* (30/12/2009) que atraíram 170 empresas apenas para a região do Research Triangle Park (Raley, Durham and Chapell Hill). O impacto econômico agregado por estas atividades atinge cerca de US\$ 46 bilhões de dólares.

⁶⁴ Observe-se, no entanto, que algumas experiências regionais de apoiar a biotecnologia fracassaram. Este foi o caso do Centro de Biotecnologia de Joinville que, apesar do forte aporte de recursos governamentais e internacionais (Alemanha) acabou sendo desmobilizado.

da biotecnologia moderna brasileira foi um conjunto de circunstâncias resultantes da uma combinação de iniciativas descentralizadas do poder central, a criação das Redes de Genomas em São Paulo e dos CEPIDs (Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão) e de um importante polo de biotecnologia em Minas Gerais, a Biominas.

Observe-se que as duas situações contemplam diferentes soluções de funding e de governança corporativa. Em São Paulo os recursos de capital financeiro são, em boa parte, consequência do sucesso da FAPESP em transferir recursos para a pesquisa e para a inovação. Em Minas, decorre de uma singular e bem sucedida arrumação de competências em torno de um polo regional de C&T&I em biotecnologia.

Note-se que a dificuldade de compreender a biotecnologia no Brasil como uma atividade industrial e de serviços, e como uma indústria de base científica, e não apenas como uma tecnologia, pode estar contribuindo para a pulverização de recursos alocados através dos diferentes programas governamentais. Isso tem acontecido principalmente nas regiões mais distantes do país, onde a demanda por projetos de biotecnologia é mais difícil de ser identificada. Além disso, deve haver mais cuidado com a superposição de vários tipos de instrumentos de apoio financeiro, vindos de programas e de várias áreas governamentais diferentes.

Também é possível dizer que um principal problema da biotecnologia no Brasil é a defasagem entre as competências científicas e tecnológicas, construídas ao longo de anos, e a sua capacidade de materialização em termos de produtos, serviços e conhecimento. O elo natural entre ambos é a constituição de uma verdadeira indústria de biotecnologia, como empresas de biotecnologia dinâmicas e modernas. Os recursos para a pesquisa científica na área de biotecnologia são expressivos, mas falta o mencionado elo com os mercados, que depende da existência de um número maior de empresas. Na realidade, isso também tem a ver com dificuldade de os formuladores de políticas de C&T&I definirem a biotecnologia como uma indústria e, a partir daí, identificarem as oportunidades de investimento, emprego, comercialização etc..

Apesar de ser uma indústria emergente em todo o mundo – e como uma indústria emergente não ter ainda consolidado a sua estrutura de mercado – a importância da indústria de biotecnologia não pode ser ignorada. O Brasil possui capacidade empresarial na área de biotecnologia tradicional e moderna, como foi mostrado ao longo do estudo. Ao longo do tempo, o país conseguiu encaminhar um não desprezível montante de recursos para apoiar as atividades de C&T&I, através de várias iniciativas diferentes, algumas federais, outras estaduais. Não houve, no entanto, salvo alguns programas isolados, um grande esforço para promover empreendimentos privados, o que se reflete no pequeno número de empresas de biotecnologia.

Além do mais, as empresas que já estão instaladas dependem, em grande parte, dos recursos de pesquisa que são dirigidos para universidades e centros de pesquisa, como bolsas de pesquisa e outros tipos de apoios. A experiência internacional com empresas *startups* mostra que há outra forma de se apoiar uma indústria *science-based*, cujas empresas são ainda imaturas do ponto de vista empresarial e na qual qualquer tipo de investimento está associado a risco elevado. Em outras palavras, o financiamento à inovação, especialmente numa indústria *science-based* como a de biotecnologia, é um empreendimento de alto risco. Além de tudo, embora abundem empresas de ciências da vida, faltam empresas de biotecnologia moderna no Brasil. Sem empresas não haverá mercados, produtos e serviços.

Neste sentido, é necessário em primeiro lugar criar estímulos para o aparecimento de novas empresas. Consecutivamente é necessário oferecer instrumentos financeiros que permitam alongar o tempo de vida das jovens empresas de biotecnologia já existentes. Esta tem que durar mais tempo do que o necessário para fazer uma empresa se consolidar, desenvolver e lançar seus produtos no mercado. Isso exigiria programas especiais de apoio até que possam abrir seu capital. Neste caso, o essencial, no entanto, seria a compreensão inicial de que há necessidade de se montar **uma nova estrutura de governança**, uma eficientemente orientada para levar recursos às empresas emergentes de biotecnologia, de forma que elas possam se tornar lucrativa.

No que se refere à atuação pública haverá um ganho de eficiências se as ações governamentais (federal), estadual e municipal forem somadas e dirigidas para apoiar alguns polos de desenvolvimento em biotecnologia moderna. Vocações mais ou menos "naturais" – como as que decorrem de economias de aglomeração – além de nível educacional mínimo podem ajudar a definir estas áreas. Não há dúvidas que alguns destes polos já existem em São Paulo, Rio de Janeiro, Minas e Rio Grande do Sul. Outros polos poderiam ser definidos em função da desativação de indústrias tradicionais, como têxtil, calçados, fumo etc. Neste sentido, governos, locais e federal, deveriam promover a instalação de infraestrutura e de centros de treinamento e educação especialmente voltados para o treinamento técnico especializado.

No que se refere ao financiamento ao investimento, uma síntese de medidas de apoio financeiro a empresas inovadoras

de biotecnologia em três países (Estados Unidos, França e Alemanha) oferece exemplos de como se pode apoiar empresas *startups* de base inovadora em biotecnologia em cada um dos padrões de governança financeira anteriormente apresentados – padrões ou modelos de mercado, centralizados ou mistos (Fonseca, 2007, e Fonseca e Ávila, 2006).

Com base na atual linha de estabelecimento de políticas ativas para estruturação de empresas de base biotecnológica seria possível propor uma atuação específica. A participação do BNDES neste tipo de programa, ao lado da FINEP e de outras agências federais, pode auxiliar a criação de capacitação em biotecnologia na órbita privada e a transformação dos recursos investidos em produtos e serviços, permitindo que o Brasil reforce a sua indústria de biotecnologia.

Em janeiro de 2007, o BNDES lançou o Programa CRIATEC, com orçamento de R\$ 80 milhões voltado para a participação em Fundo de Investimento com a finalidade de capitalizar micro e pequenas empresas inovadoras de **capital semente**, entre as quais empresas de biotecnologia. Estas empresas teriam que apresentar faturamento líquido de, no máximo, R\$6 milhões, no ano imediatamente anterior à capitalização. A estas empresas seria fornecido apoio gerencial (de acordo com a Instrução CVM nº 209). O Fundo tem duração de 10 anos, sendo que os quatro primeiros anos referem-se ao chamado período de investimentos. Uma das condições de operação do Fundo é a sua expansão regional, escolhendo-se seis cidades onde atuam os chamados Gestores Regionais, a saber: Florianópolis; Campinas (englobando a capital e outras cidades próximas); Rio de Janeiro; Belo Horizonte; Fortaleza e Belém.

Em relação ao CRIATEC-BIOTEC propõe-se sua ampliação para atender empresas emergentes que atuem na área de biotecnologia moderna. O objetivo seria o de reforçar a capacidade administrativa e empresarial das empresas em suas etapas iniciais, fase em que estão definindo os seus portfólios de pesquisa. Sugere-se também que o apoio ao Fundo condicione metas de avaliação do sucesso para as empresas apoiadas. Neste sentido seria necessário a apresentação de um *portfolio* de pesquisas a serem desenvolvidas, apontando as suas aplicações e os nichos de mercado a serem atingidos. Sugere-se, também, que o novo fundo seja iniciado com um mínimo de 20 empresas-semente de biotecnologia moderna. Ao final do prazo, as empresas apoiadas se comprometeriam a apresentar seus Planos de Negócios.

A justificativa para tal proposta refere-se à necessidade de consolidar a atuação de empresas semente de biotecnologia, que estejam em seus primórdios, e que necessitem de apoio financeiro e administrativo, de forma a prepará-las para a fase seguinte, de desenvolvimento de produtos.

No que se refere aos Fundos de Investimento, o BNDES opera, por meio da BNDESPAR, em quotas de Fundos de Investimento em Empresas Emergentes ou *venture capital* – aqueles com investimentos destinados a empresas emergentes, mas já em fase de definição de um portfolho de produtos, serviços etc., Sua definição já estava prevista na Instrução CVM nº 209, de 25/03/94. O prazo de vigência deste programa é 2010 e a participação do BNDES é de 25% do patrimônio comprometido. Em 02.09.2008, o Comitê de Mercado de Capitais homologou a escolha dos três fundos melhor pontuados e selecionados nas categorias agronegócio, bioenergia e governança, que foram, respectivamente:

- Brasil Agronegócio cujo gestor é BRZ Investimentos,
- FIP Terra Viva, com gestor DGF Investimentos e
- CRP VII, com gestor CRP Companhia de Participações.

Com base nesta experiência, propõe-se a criação de novo fundo destinado a financiar empresas emergentes de biotecnologia moderna, **após a sua fase de implementação como empresa semente**. Seriam selecionadas apenas empresas inovadoras, que atuassem na área de biotecnologia. A condição de apoio através do Fundo BiotecModerna seria a existência de um *portfolio* de pesquisa na área de biotecnologia moderna e a apresentação de um plano de negócios para o lançamento de produtos e serviços. Sugere-se selecionar, inicialmente, não mais do que 15 empresas emergentes para apoio com base nas condições típicas de *funding* de *venture capital*, tal como previsto pela CVM. O Fundo BiotecModerna seria, portanto, orientado para empresas de biotecnologia complementar a fase inicial de apoio ao capital semente, previsto pelo Programa CRIATEC.

Uma cláusula de condicionalidade poderia ser adicionada: a de que as empresas que tivessem participação acionária do BNDES/BNDESPAR não poderiam ser adquiridas em operações de *take-over* ou manter associação societária com corporações nacionais ou multinacionais, até que estivessem em condições de desenvolver seus produtos. Supõe-se um prazo de 10 anos para este desenvolvimento mas este prazo poderia ser alterado, se necessário.

A justificativa, neste caso, seria a necessidade de consolidação das empresas em suas fases mais adiantadas, do desenvolvimento de produtos até o seu lançamento no mercado, de forma a consolidar uma estrutura de mercado em biotecnologia moderna no Brasil. A premissa, neste caso, é que a concorrência através da introdução de processos inovadores serviria de estímulo, a médio e longo prazos, para a redução de custos, e aumento da qualidade dos produtos.

Além disso, a médio e longo prazos, a competição nos mercados e nichos de mercado de biotecnologia moderna, incluindo a biotecnologia farmacêutica, a industrial-ambiental e a agroindustrial, poderia ser aumentada com a difusão de novos processos e conhecimentos à disposição dos consumidores intermediários e de novos produtos e serviços à disposição dos consumidores finais. Observe-se que a experiência de países que já apresentam uma indústria de biotecnologia montada mostra que esta é uma indústria competitiva. Para isso não é suficiente que as empresas façam parte de redes de colaboração – isto é, tenham capacidade de se inserir como colaboradoras (ou empresas dedicadas) em associações pré-competitivas. Elas também devem competir com as corporações da área de biotecnologia farmacêutica, química e agroindustrial, em geral empresas oligopolizadas e com grande poder de mercado.

5 DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS EM NANOTECNOLOGIA

Esta seção baseia-se na NT de Sonia Dalcomuni sobre nanotecnologia.

A emergência das nanotecnologias, ou seja, da busca de descobertas técnico-científicas ao nível do nanômetro, pode ser interpretada, em termos econômicos, como a criação de novas indústrias baseadas em ciência, e tem suscitado diferentes análises e expectativas quanto ao potencial caráter revolucionário destas tecnologias, tanto no que se refere aos desenvolvimentos técnico-científicos per se, quanto em termos de seus possíveis impactos na dinâmica e desenvolvimento industriais.

Segundo o '*National Nanotechnology Initiative*' (NNI) ⁶⁵ do Governo dos EUA:

"Nanotecnologia é o entendimento e o controle da matéria com dimensão entre 1 a 100 nm, onde fenômenos únicos permitem novas aplicações". Englobando ciência, engenharia e tecnologia em nanoescala, nanotecnologia inclui imagem, medição, modelagem e manipulação de matéria em nanoescala. A nanotecnologia, portanto, refere-se aos estudos e aplicações de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menor ou da ordem de algumas dezenas de nanômetros.

De fato a emergência das nanotecnologias tem suscitado um conjunto de questões fundamentais, tais como: Quais são os fatores indutivos do desenvolvimento das nanotecnologias? Como este processo de inovação molda novos mercados e impacta os mercados já estabelecidos? Qual é o papel das empresas líderes e das novas entrantes no processo de inovação das nanotecnologias? Qual o papel das políticas públicas de C&T no desenvolvimento das nanotecnologias? E quanto à regulação, focar-se-á nos modelos clássicos de padronização (Blind, 2006) ou observaremos regulações mais severas, suscitando controvérsias e debates envolvendo a sociedade sobre a necessidade de controlar e coibir a oferta de produtos com conteúdo nanotecnológico para o público? Como se dá a dinâmica do conhecimento e o papel das instituições no desenvolvimento das nanotecnologias? Quais tenderão a ser os principais desafios em termos de capacitação de recursos humanos e à construção e consolidação de competitividade empresarial? Quais serão as oportunidades para o Brasil? Haverá "janelas de oportunidade" para países do Hemisfério Sul ou para empresas novas entrantes? Quais as implicações do desenvolvimento das nanotecnologias nas mudanças econômicas e sociais?

5.1. Dinâmica Global do Investimento

A área das nanotecnologias tem atualmente, em termos globais, atraído mais investimentos públicos do que qualquer outra área isolada de tecnologia, com cifras da ordem de US\$8 bilhões em 2008 para investimentos públicos em pesquisa. Saliente-se, ainda, que nos países líderes nestes investimentos, quais sejam: Europa, Estados Unidos e Japão, os investimentos privados superam os investimentos públicos (NOR 2008).

Os investimentos em nanotecnologia vêm apresentando mudança de perfil ao longo dos anos. Os investimentos iniciais na área foram estimulados, através de iniciativas governamentais nos Estados Unidos e Europa, induzidos por expectativa de oportunidades tecnológicas revolucionárias nas áreas de computadores (avanço na eficiência dos computadores; próteses; 'design' de materiais criados diretamente da manipulação de átomos e moléculas, resultando em novos produtos nas áreas de: 1) Novos materiais; 2) Nanoeletrônica; 3) Dispositivos de TI; 4) Medicina e Saúde; 5) Energia e Meio Ambiente 6) Biotecnologia e Agricultura; 7) Segurança Nacional; 8) Educação e Competitividade.

Inicialmente os investimentos e os patenteamentos, em sua quase totalidade, eram efetuados em grupos de pesquisa com predominância de 'pesquisadores-inventores' como líderes das equipes de trabalho e depositários de patentes.

⁶⁵ National Nanotechnology Initiative é um Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Governo dos EUA criado para coordenar as ações das diversas agências americanas em seus esforços de desenvolvimento científico, tecnológico e de engenharia em nanotecnologia.

Até recentemente as nanotecnologias concentravam-se em eletrônica, computadores, telecomunicações e novos materiais. Atualmente a principal fronteira de desenvolvimento das nanotecnologias é a área Biomédica (diagnóstico, terapêutica, biologia molecular e bioengenharia), embora permaneçam amplas as oportunidades tecnológicas nos mais diferentes ramos da atividade econômica.

Conforme o relatório *Nanotechnology Opportunity Report* (Científica, 2008) o panorama atual dos investimentos em nanotecnologia é bem diverso do observado em 2000 e 2003, anos de sua primeira e segunda edição, respectivamente. Naquela época, segundo o NOR, a nanotecnologia era vista como área de oportunidades ilimitadas em praticamente todos os setores. O maior desafio era, então, entender o que exatamente eram as nanotecnologias e tentar mapear suas aplicações.

Em 2008 o panorama é bem diferente, o foco mudou das oportunidades tecnológicas para as oportunidades de mercado. As projeções de mercado são otimistas. O *National Nanotechnology Initiative* do governo do Estados Unidos apresentam projeção de mercado da ordem de US\$1.5 trilhão em 2015, enquanto projeções europeias apontam para um mercado de um trilhão de Euros apenas para a "zona do euro" (Nanotechnology Initiative Plan -NIAP 2007-2010). Neste contexto o NOR 2008 focou mercados reais, e não apenas potenciais tecnológicos e elaborou um panorama geral da dinâmica de mercado em nanotecnologia. Algumas de suas informações estão reproduzidas de forma sintética nos parágrafos que seguem.

Dentre os setores que as nanotecnologias têm impactado de forma mais significativa destacam-se: a) Eletrônica; b) Alimentos; c) *Drug Delivery*; d) Têxteis, e) Energia.

Ao longo da última década o impacto das nanotecnologias nos mercados de diferentes setores tem mudado. Após dez anos de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, tendo-se estruturado uma cadeia de produção altamente desenvolvida e tendo-se garantido a estabilidade na oferta de produtos é que o setor dos nano materiais está finalmente possibilitando aplicações de maior valor agregado. Recentemente o número de produtores de nanomateriais tem decrescido à medida que a consolidação deste mercado aumenta e as companhias multinacionais da indústria química agora dominam o mercado.

Atualmente os nanomateriais, que há poucos anos eram considerados como materiais de valor elevado, estão rapidamente assumindo a estatura de commodities.

Isto significa que neste mercado já não há mais "janelas de oportunidades" para novos entrantes, em especial para pequenas empresas, ou para produtores com o perfil "pesquisador-inventor". Projeta-se que o uso destes materiais na produção de produtos de maior valor agregado levará a um mercado de US\$ 1.5 trilhão em 2015. As maiores taxas de crescimento estão projetadas para os setores de saúde e para a indústria farmacêutica. Neste mercado as empresas líderes da indústria química estão investindo pesadamente e estão sendo capazes de produzir toneladas de nanomateriais de uma vez, separá-los dos resíduos e de repetir o processo, de forma padronizada e contínua. Como "janelas de oportunidade" resta observar e explorar possíveis "nichos" de mercado ainda negligenciados.

O desenvolvimento econômico das nanotecnologias, segundo o NOR (2008), abriu-se com o anúncio do programa US *National Nanotechnology Initiative* em 2000, que catalisou uma corrida de investimentos em nanotecnologias em diversos países do globo e foi um período de 'boom' para fornecedores de equipamentos. Empresas começaram a investir em universidades embora ainda fosse muito incerto o cenário do potencial mercadológico de nanotecnologias específicas. Multiplicaram-se rapidamente os especialistas em nanotecnologia, em especial a partir do Vale do Silício. Porém, até cinco anos atrás, para comprar nanomateriais, por exemplo, ter-se-ia que lidar com pequenos grupos de "pesquisadores de fundo de quintal", ou com um professor rodeado por orientandos e colaboradores. Atualmente compra-se nanomateriais de um grande número de empresas bem estabelecidas da indústria química. Fundamentalmente porque os grandes fornecedores têm procedimentos rígidos de controle de qualidade e conseguiram a padronização da produção e garantiram a regularidade da oferta. Ou seja, se uma empresa como a Boeing deseja usar um compósito baseado em nanotecnologia, ela pode ter a certeza de que pode comprar do mesmo compósito seguidamente e que empresas fornecedoras como a BASF estarão no mercado para fornecer-lhe.

Assim, é a possibilidade de comprar grandes quantidades de materiais bem caracterizados que traz a nanotecnologia para o mercado. As expectativas para a taxa de crescimento do mercado de nanomateriais estão entre 20 a 30% ao ano.

Analisando-se a aplicação das nanotecnologias em diferentes setores, chama a atenção o fato de que dos cinco maiores investidores em Pesquisa e Desenvolvimento nas indústrias – química, automobilística, saúde/fármacos e aeroespacial e defesa – 51% estão na indústria química. Adicionalmente, 57% de todo o P&D industrial que é investido em nanopartículas e nanoestruturas (que inclui várias estruturas em nanoescala como materiais porosos, de filtros a aerogéis) e as principais aplicações são em áreas tais como: aditivos, lubrificantes, injetores de aditivos, fármacos, nanocápsulas, biossensores e aditivos de tintas.

A produção de nanomateriais é uma das principais formas de impacto nos diferentes setores da indústria, envolvendo não apenas a produção de materiais avançados e demais ramos da indústria química, mas também crescentemente impactos nos setores da indústria denominados como tecnologicamente tradicionais, dentre os quais, em termos de nanotecnologias, a indústria têxtil é paradigmática.

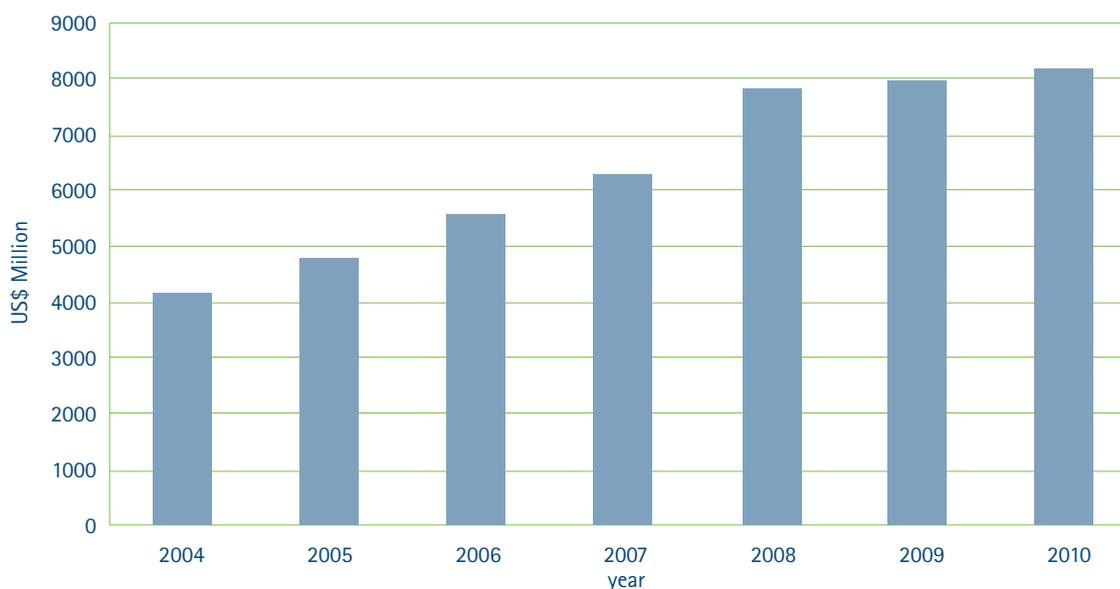
A indústria têxtil tem sido uma das primeiras e principais indústrias na adoção de produtos e processos nanotecnológicos com a cifra de US\$13.6 bilhões em tecidos usando nanotecnologias no mercado em 2007. Com projeções de que estes números subam para US\$111 bilhões em 2012.

O setor têxtil tem sido radicalmente mudado nos anos recentes, alterando as necessidades dos consumidores, novas tecnologias e globalização. A indústria têxtil tem usado amplamente tecnologias avançadas. Especialmente as advindas da indústria química. Hoje os principais fornecedores de insumos nanotecnológicos para a indústria têxtil estão nos Estados Unidos, enquanto a maior parte das manufaturas encontra-se na Ásia.

Entretanto, alerte-se que o mais rápido e intenso uso de nano insumos no âmbito da indústria têxtil está ainda circunscrito a produções especiais: tecidos para uso na área de saúde, área militar e tecidos esportivos, áreas em que a *performance* é mais importante que o custo. Na indústria de vestuário não se espera impacto maior do que 1% do mercado. Entretanto, como as expectativas são de que este mercado atinja a cifra de três trilhões de dólares em 2012, 1% representa possibilidades de ganhos expressivos, razões pela qual, empresas como a BASF estejam investindo pesadamente em nanotecnologias para o setor têxtil.

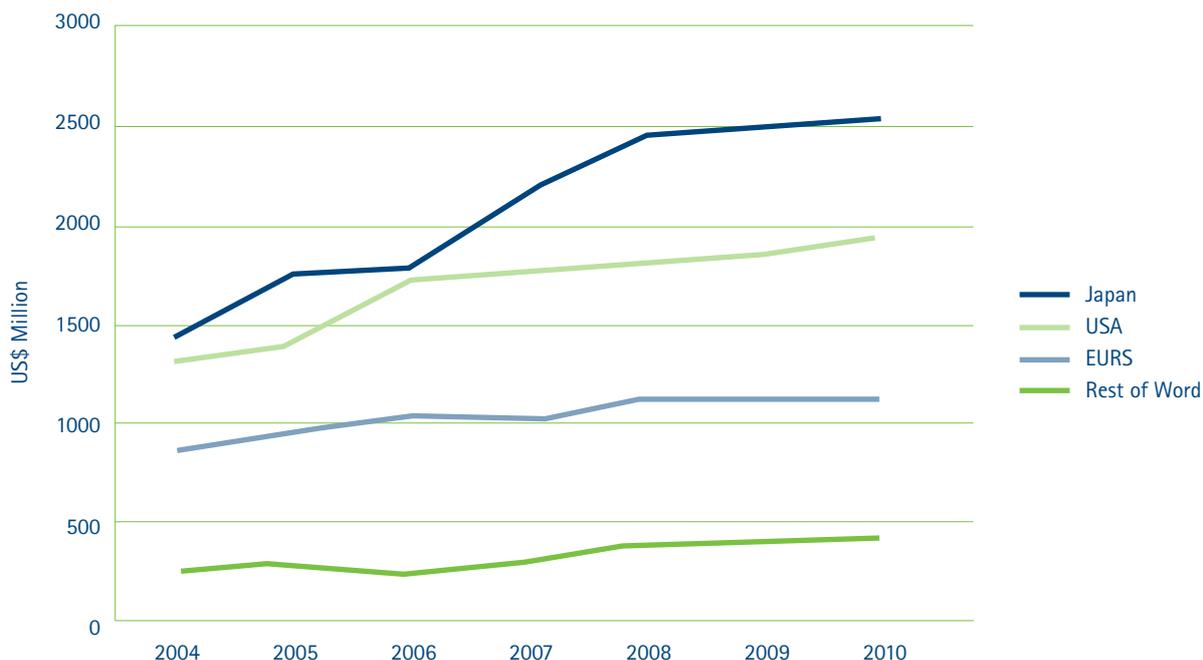
As figuras 5.1 e 5.2 ilustram os investimentos públicos em países selecionados, reiterando a liderança da Europa, Estados Unidos e Japão em nanotecnologias.

Figura 5.1 - Investimentos Governamentais Globais em Nanotecnologias



Fonte: NOR, 2008.

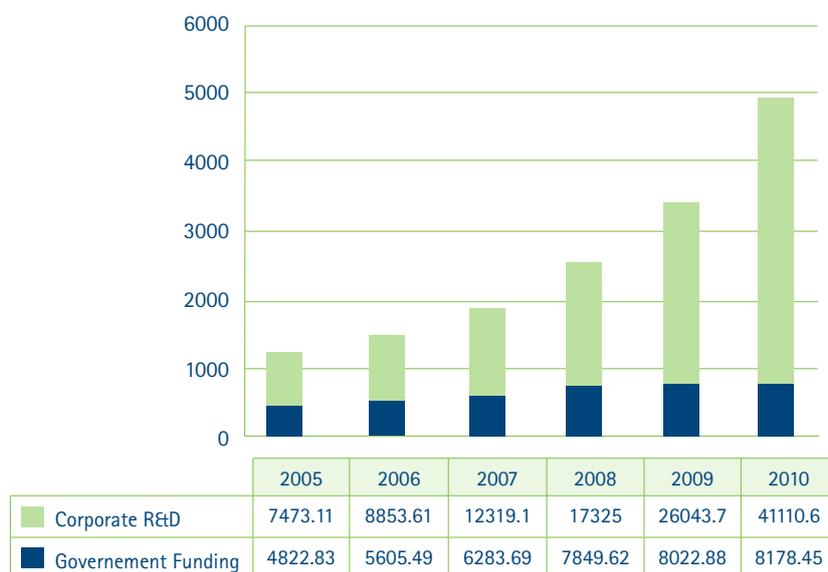
Figura 5.2 - Investimentos Públicos em Nanotecnologia em Países Líderes



Fonte: NOR, 2008.

A mudança no perfil dos investimentos, anteriormente enfatizada, pode ser corroborada pelos dados da figura 5.3, que ilustra a progressiva superação dos investimentos públicos pelos investimentos das grandes corporações privadas. Assim percebe-se o deslocamento dos pequenos grupos de pesquisa em universidades ou pequenas empresas ao estilo "pesquisador-inventor" enquanto principais agentes no processo de inovação e de produção de nanotecnologia, em termos globais.

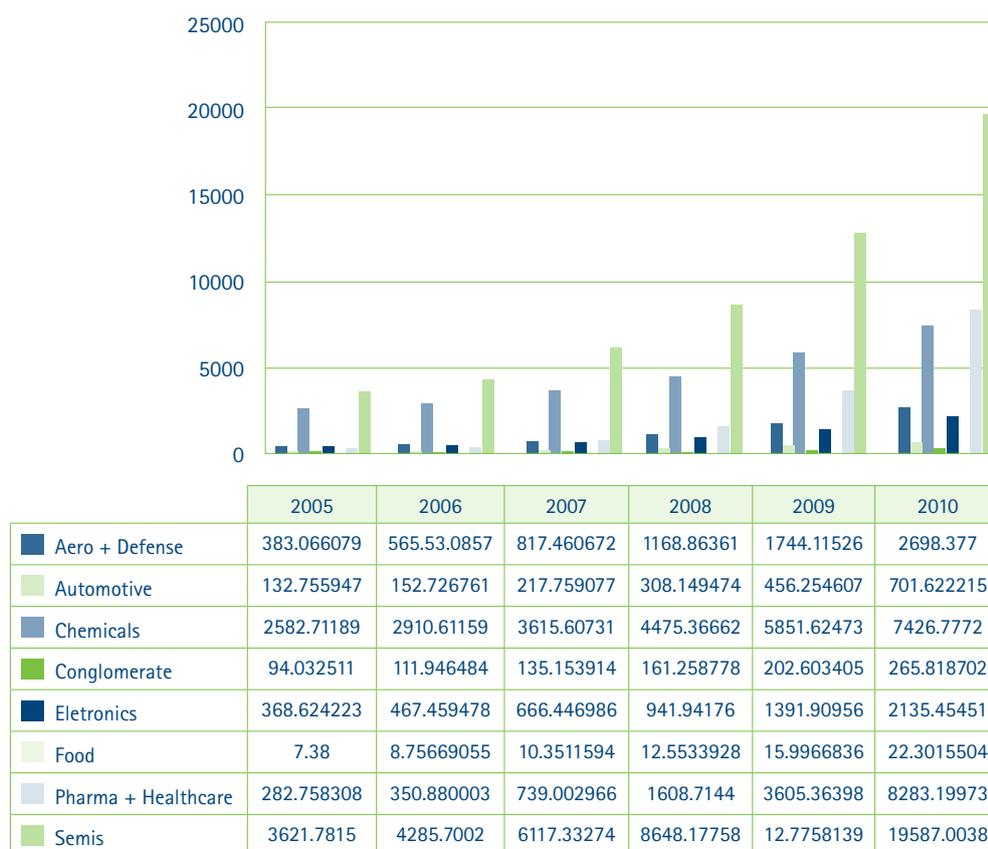
Figura 5.3 - Investimentos Totais em Nanotecnologia



Fonte: NOR 2008

Os principais setores em investimentos em nanotecnologias são, em ordem de importância, o de semicondutores, saúde e fármacos, químico, aeroespacial e defesa e o de eletrônicos. Conforme ilustra a figura 5.4.

Figura 5.4 - Investimentos Corporativos Em P&D por Setor

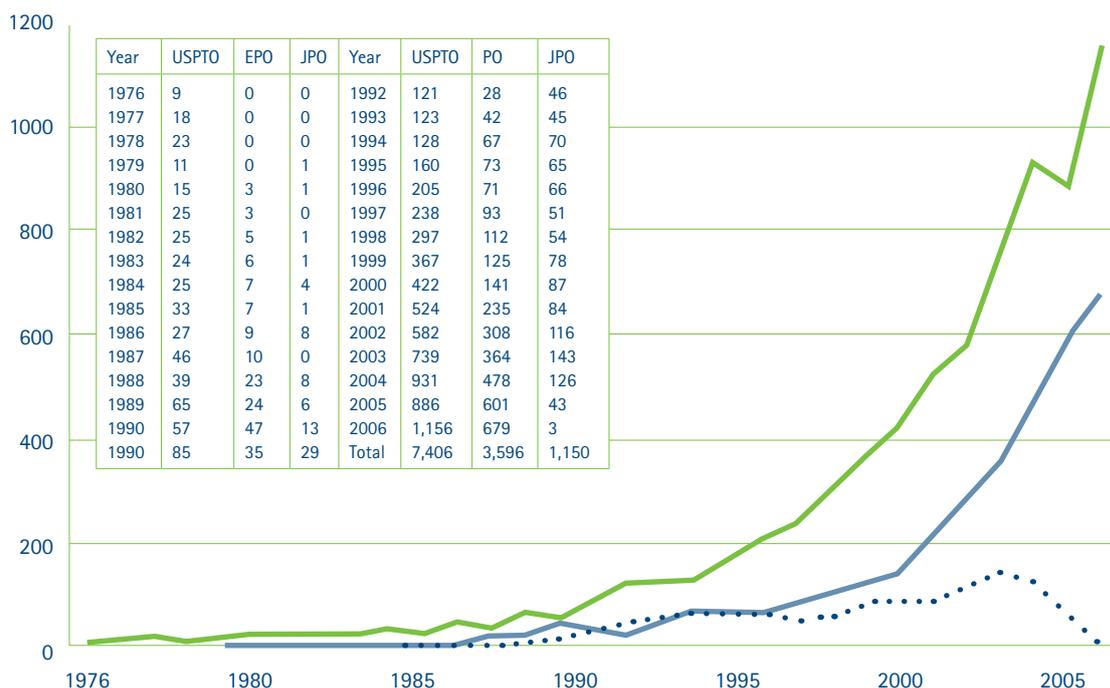


Fonte: NOR 2008

As características gerais observadas e o perfil dos investimentos em P&D são também visíveis nos dados de patentes, sendo elas: a) uma intensificação a partir dos anos 1990, b) a superioridade numérica das patentes de empresas "global players" patenteando tanto nos Estados Unidos (*United States Patent and Trademark Office - USPTO*) quanto na Europa (*European Patent Office*) e no Japão (*Japan Patent Office*) - a exemplo da IBM e da L'Oreal. Ressalte-se, entretanto, que centros de pesquisa e Universidades também figuram nestas estatísticas como importantes depositantes de patentes.

As figuras 5.5, 5.6, 5.7 e a tabela 5.1 sistematizam estas informações, enfocando o número de publicações de patentes nos Estados Unidos, Europa e Japão; o número de patentes por depositante em cada um destes escritórios, o número de patentes por período nos Estados Unidos e na Europa; e, finalmente, as empresas e entidades que mais publicaram patentes em nanotecnologias.

Figura 5.5 - Número de Patentes Publicadas em Nanotecnologia pelo USPTO, EPO e JPO Segundo data de Publicação



Fonte: CHEN et al, 2008.

Tabela 5.1 - Empresas e Entidades que mais Publicaram Patentes em Nanotecnologias USTPO (1976-2006), Epo (1978-2006) e JPO (1976-2006)

Rank	Institution	No. of patents
US Patent and Trademark Office		
1	IBM	209
2	University of California	184
3	US Navy	99
4	Eastman Kodak	90
5	Massachusetts Institute of Technology	76
6	Micron Technology	75
7	Hewlett-Packard	67
8	Xerox Corporation	62
9	3M Company	59
10	Rice University	51
European Patent Office		
1	Japan Science and technology Agency(Japan)	78
2	L'Oreal(France)	60
3	IBM(US)	50
4	Rohn Et Haas (US)	47
5	Sansung(South Korea)	45
6	Eastman kodak (US)	40
7	CEA (France)	39
8	CNRS (France)	37
9	Matsushita Eletric Industrial (Japan)	32
10	BASF (Germany)	31
Rank	Institution	No. of patents

Japan Patent Office		
1	Nippon Electric	109
2	Japan and Science and Technology Agency	70
3	National Institute for Materials Science	52
4	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	48
5	Matsushita Electric Industrial	45
6	The agency of Industrial Science and Technology	43
7	Tokyo Shibaura Electric	43
8	Sony	32
9	Canon	21
10	Seiko Instruments	27

Fonte: CHEN et al, 2008.

Figura 5.6 - Número de Patentes por Período - USPTO

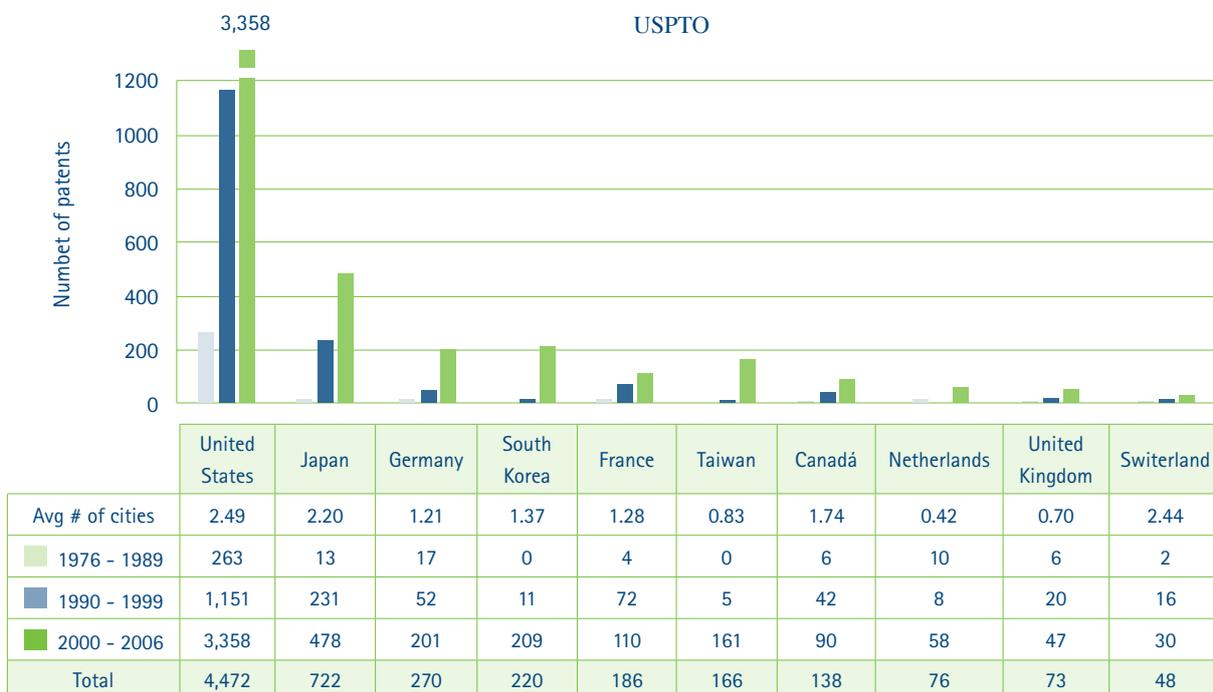
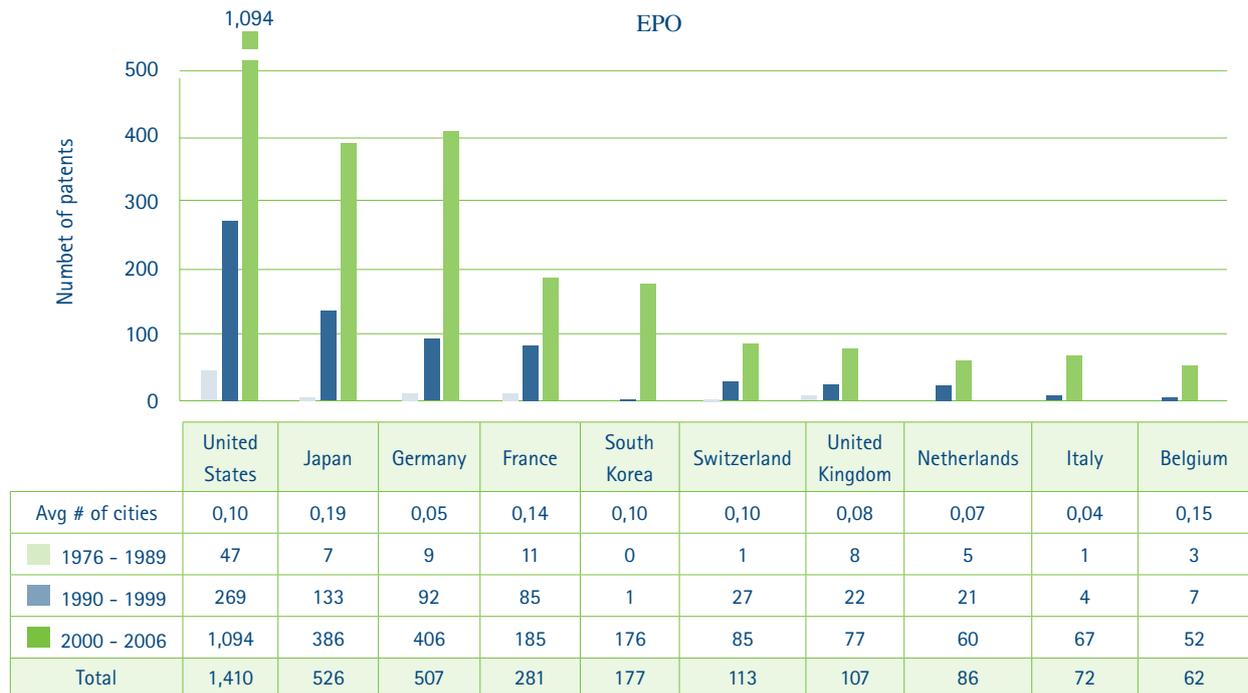


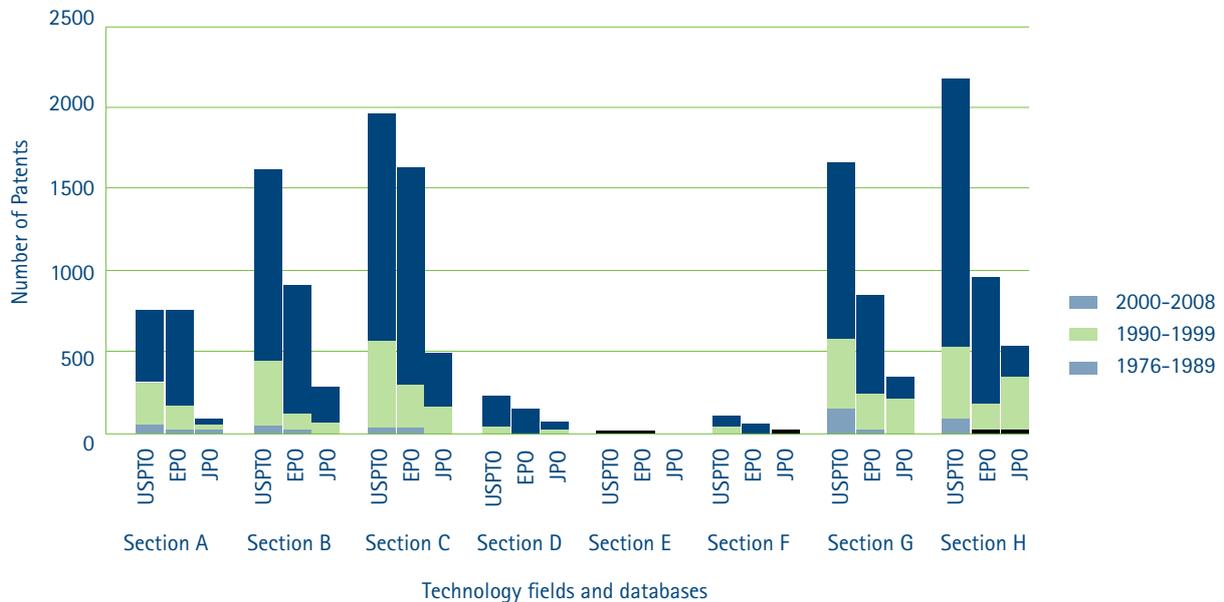
Figura 5.7 - Número de Patentes por Período - EPO



Fonte: CHEN et al, 2008.

A figura 5.8 explicita as patentes agrupadas de acordo com a classificação do *International Standard Classification Scheme*, qual seja: Classe A – Necessidades Humanas, Classe B – Operação de Performance e Transporte; Classe C – Química e Metalurgia; Classe D – Têxteis e Papel; Classe E – Construções Fixas; Classe F – Engenharia Mecânica, Iluminação e Aquecimento; Classe G – Física e; Classe H -- Eletricidade.

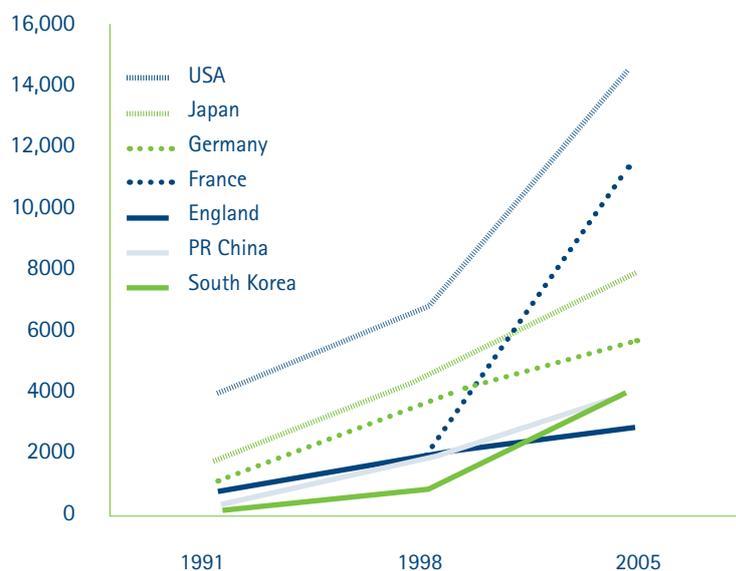
Figura 5.8 - Número de Patentes por Área Tecnológica



Fonte: CHEN et al, 2008.

Com evidentes limitações, dados sobre publicações e citações podem e são usados na busca de apreender a dinâmica da produção do conhecimento em áreas específicas. No que tange às nanotecnologias, Kostoff et al (2006 a e b) realizaram uma pesquisa global sobre a literatura em nanotecnologia e nanociência. Enfatizaram uma vez mais que tais publicações estão aumentando de forma exponencial, apontando para a crescente importância científica desta área do conhecimento e identificando os Estados Unidos, Alemanha, Japão, China, Inglaterra, Coreia do Sul e França, como os países líderes nestas publicações, conforme ilustra a Figura 5.9.

Figura 5.9 - Número de Artigos sobre Nanotecnologia em Países Selecionados



Fonte: Kostoff, et al. (2006)

Como resultados deste trabalho os autores explicitam: 1) A produção de artigos apresenta crescimento exponencial por mais de uma década; 2) O maior crescimento foi observado nos países asiáticos, notadamente na China e na Coreia do Sul; 3) Parte do crescimento de alguns países (China, por exemplo) pode dever-se ao fato de pesquisadores publicando em periódicos locais de pequena repercussão agora terem passado a ser acessados pelos sistemas internacionais de pesquisa bibliográfica; 4) A representação da China em periódicos de maior repercussão internacional é ainda pequena, porém crescente; 5) De 1998 a 2002 a taxa de artigos de alto impacto da China em relação ao total das publicações em nanotecnologia, dobrou, situando-a em condições de igualdade com países como Japão, Itália e Espanha; 6) Os Estados Unidos permanecem como líderes na produção agregada de artigos de pesquisa em nanotecnologia; 7) Em algumas sub-áreas selecionadas de nanotecnologia, a China igualou-se a países líderes (nanocompósitos, por exemplo). O Brasil, figura como responsável por 1.2% das publicações globais em nanotecnologia. A tabela 5.2 sintetiza estas informações.

Tabela 5.2 - Distribuição de Artigos por Países – Total de Artigos/500 Artigos Mais Citados (2002)

Country and rank total publication		Country Rank most cited (80 cities min)	
Country	Percentage	Country	Percentage
USA	24.02	USA	58.20
Japan	15.09	Germany	11.40
P.R China	11.62	Japan	8.40
Germany	11.65	England	6.20
France	7.43	P.R China	5.80
England	5.86	France	5.40
Russia	4.83	South Korea	3.80
South Korea	4.45	Switzerland	3.40
Italy	3.92	Canada	2.80
Spain	3.09	The Netherlands	2.20
India	2.89	Italy	2.00

Country and rank total publication		Country Rank most cited (80 cities min)	
Canada	2.40	Spain	2.00
Taiwan	2.18	Sweden	2.00
Sweden	2.05	Finland	1.40
Poland	1.92	Belgium	1.20
Brazil	1.91	Brazil	1.20
Switzerland	1.80	Denmark	1.20
The Netherlands	1.77	Russia	1.20
Australia	1.54	Australia	1.00
Belgium	1.26	Austria	1.00
Israel	1.25	Israel	1.00
Singapoure	1.22	Scotland	0.80
Austria	1.02	Singapoure	0.80
Ukraine	0.99	Taiwan	0.60
Mexico	0.81	India	0.40
Scotland	0.78	Ireland	0.40
Czech Republic	0.78	Portugal	0.40
Finland	0.73	Argentina	0.20
Denmark	0.69	Czech Republic	0.20
Portugal	0.62	Greece	0.20
Hungary	0.59	Hungary	0.20
Greece	0.56	Lithuania	0.20
Turkey	0.51	Mexico	0.20
Argentina	0.46	Poland	0.20
Romania	0.45	Slovenia	0.20
Bulgaria	0.31	Turkey	0.20

Fonte: Kostoff, et al. (2006)

A análise da dinâmica dos investimentos em nanotecnologia em nível global, numa perspectiva histórica, realça três aspectos fundamentais, quais sejam:

- 1) Trata-se de área de investimentos vultosos e consistentes tanto em termos de investimentos públicos quanto em termos de investimentos privados;
- 2) O perfil dos investimentos tem mudado: os investimentos privados crescentemente superam os investimentos públicos (para 2010 as projeções são de que os investimentos privados responderão por 82% dos investimentos totais em nanotecnologia) e, são norteados por oportunidades de mercado em substituição às oportunidades tecnológicas que os guiavam anteriormente;
- 3) O importante papel desempenhado pelas instituições nestes investimentos, não apenas em sua fase inicial, mas também ainda hoje, num contexto em que planos de ação dos governos dos Estados Unidos e da União Europeia prosseguem fornecendo estímulos financeiros e institucionais relevantes para o desenvolvimento das nanotecnologias, tanto em seus países, como servindo de referência para iniciativas nacionais em outros países.

Como já mencionado, o lançamento do programa do governo dos Estados Unidos "*National Nanotechnology Initiative Plan*", em 2000, é identificado como o "gatilho" que deflagrou uma verdadeira corrida de pesquisa e investimentos nas áreas de nanociência e nanotecnologia em diversos países do globo. Seguido por planos da União Europeia e do Governo Alemão, estas iniciativas governamentais constituíram-se em importante marco de referência institucional para o atual desenvolvimento das nanotecnologias em nível global.

Em comum na estrutura de governança e no financiamento público para o desenvolvimento das nanotecnologias dos planos norte americano e europeus, destaca-se:

- a) Nanociência e Nanotecnologias são vistas como área multidisciplinar e estratégica;
- b) Construíram uma estrutura de Governança constituída por organismos do primeiro escalão de decisão e diretamente ligados à presidência dos países (EUA) e/ou das Organizações Internacionais EU/Alemanha para coordenar as ações e os investimentos públicos em nanotecnologias, concentrando inicialmente os financiamentos em infraestrutura de pesquisa em Universidades e centros de pesquisa e capacitação de recursos humanos;
- c) Expressam a percepção de que todas as tecnologias impactam nossas vidas e assim como trazem benefícios, pode haver riscos em sua utilização, os quais devem ser identificados e mitigados.

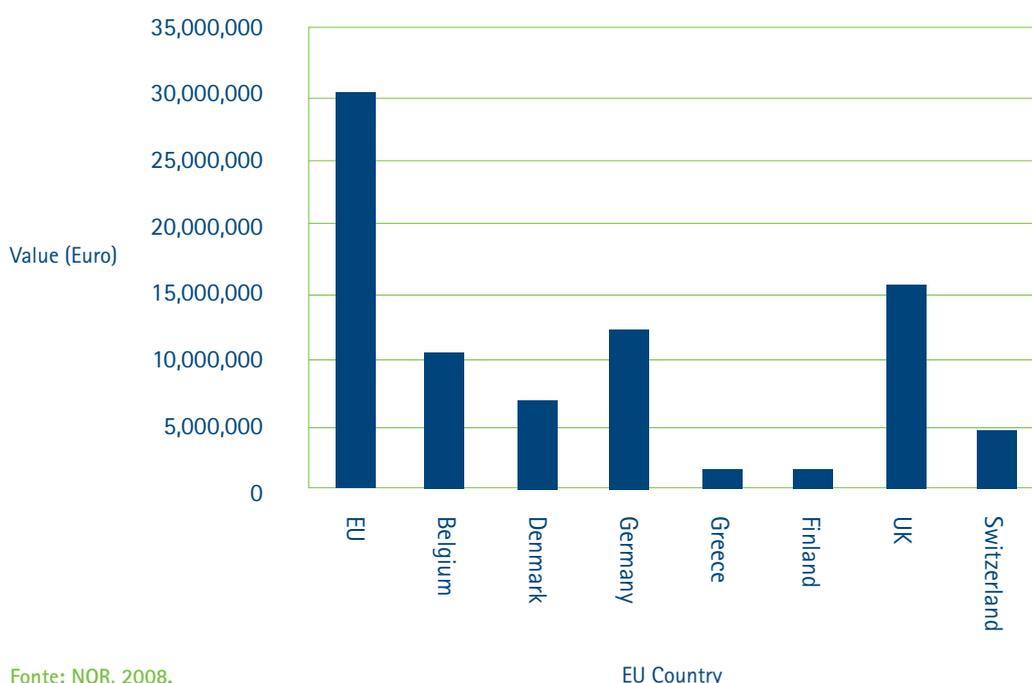
Em termos de investimentos globais, cabe ainda ressaltar que, embora em volumes bem menores do que os investimentos em P&D para processos e produtos, têm crescido de forma consistente os investimentos em P&D voltados ao estudo da toxicidade das nanotecnologias.

Preocupações relacionadas à toxicidade das nanotecnologias vieram à tona com o relatório publicado em 2004 pela Royal Society, na Inglaterra, alertando para a necessidade de conhecimento acerca da toxicidade das nanotecnologias. Recentemente estas preocupações se intensificaram no hemisfério norte com a recente publicação de pesquisadores da Universidade de Edimburgo, liderados por Ken Donaldson, que explicita evidências de que alguns nanotubos de carbono – especificamente os nanotubos de carbono de múltiplas camadas (MWNT) mais longos que 20 nanômetros – apresentam o mesmo efeito patogênico que o amianto (NOR 2008).

A partir do entendimento de que é necessário antecipar-se a este problema; considerando que há atualmente mais de um milhão de produtos no mercado que contém nanopartículas (cosméticos, alimentos, materiais de embalagem e muitos outros bens de consumo), e; considerando também que preocupações ambientais podem vir a representar importante obstáculo ao desenvolvimento e à comercialização de produtos com conteúdo nanotecnológico, os investimentos em pesquisa e desenvolvimento relacionados aos impactos das nanotecnologias na saúde e na segurança, ainda que em montantes bem menores do que os destinados aos desenvolvimentos das nanotecnologias per se, têm crescido de forma consistente. Ilustrativo neste sentido é o VII European Union Framework Program para os temas nanociência, nanotecnologia, materiais e tecnologias de produção para o período 2008-2015 que destina 15% de seus recursos totais (cifra equivalente a 54,7 milhões de Euros) para projetos direcionados ao entendimento da toxicidade das nanotecnologias.

A figura 5.10 ilustra os investimentos em saúde e segurança relacionados à nanotecnologia no âmbito da União Europeia. De 2005 a 2008.

Figura 5.10 - Investimentos em Saúde e Segurança Relacionados à Nanotecnologia desde 2005



Fonte: NOR, 2008.

Em termos institucionais destaca-se, ainda, a indefinição quanto a modelos de regulação das nanotecnologias, ao mesmo tempo em que cresce o debate e os questionamentos sobre as implicações sociais e ambientais das mesmas. Pouco se avançou em relação ao desenvolvimento de padrões e de aparato regulatório para respaldar o desenvolvimento destas tecnologias à guisa de se evitar possíveis percalços decorrentes de sua não aceitação social em diversas aplicações, devido à questões éticas e de segurança.

Estados Unidos e Europa têm, portanto, desempenhado papel relevante como marco de referência institucional merecendo análise atenta com vistas ao desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil.

5.2. Tendências do Investimento no Brasil

No Brasil, observa-se um nítido descompasso na dinâmica dos investimentos em nanotecnologia, em especial no que se refere a três aspectos principais:

- 1) Os investimentos em nanotecnologia ainda não estão alçados à estatura de investimentos estratégicos;
- 2) Os volumes investidos, embora crescentes, são diminutos quando comparados às cifras globais;
- 3) Finalmente, os investimentos privados são quase inexistentes, ao menos em nível das informações disponíveis sobre os mesmos, concentrando-se quase exclusivamente nas iniciativas governamentais através do Ministério da Ciência e Tecnologia.

No Brasil, portanto, os investimentos em nanotecnologias têm se restringido às ações do Ministério da Ciência e Tecnologia, concentradas em formação de redes e projetos de pesquisa através de editais específicos.

As ações do MCT para a área estão hoje consubstanciadas no Plano de Ação 2007-2010: Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional, no Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação para Nanotecnologia.

Como objetivo geral o programa explicita: Incentivar atividades de pesquisa, desenvolvimento de novos produtos e processos e a transferência de tecnologia visando à inovação tecnológica de forma a promover a competitividade nacional. São quatro os eixos estruturantes do Programa:

- 1) Fortalecer a gestão e a articulação dos diferentes atores governamentais envolvidos no tema, de modo a maximizar as oportunidades e vantagens competitivas do país na área;
- 2) Aumentar as competências em nanociência e nanotecnologia (formação de recursos humanos, infraestrutura básica e infraestrutura de caracterização e manipulação de materiais nanoestruturados);
- 3) Promover ações para estimular a inovação em nanotecnologia mediante apoio à interação entre Institutos de Ciência e Tecnologia e empresas;
- 4) Estimular a cooperação internacional.

Dentre as ações do MCT em nano, até o momento, destacam-se:

- a) a Implantação de Institutos do Milênio;
- b) Criação de Redes de Pesquisa;
- c) O financiamento de Projetos de Infraestrutura de Pesquisa;
- d) o apoio à Inovação Tecnológica; e iniciativas de Cooperação Internacional.

As ações prioritárias do programa são: 1) Elaborar um Plano Estratégico de Médio e Longo Prazo para a Nanotecnologia no Brasil; 2) Aumentar as competências no Brasil, e; 3) Estimular a inovação em áreas estratégicas para o Brasil.

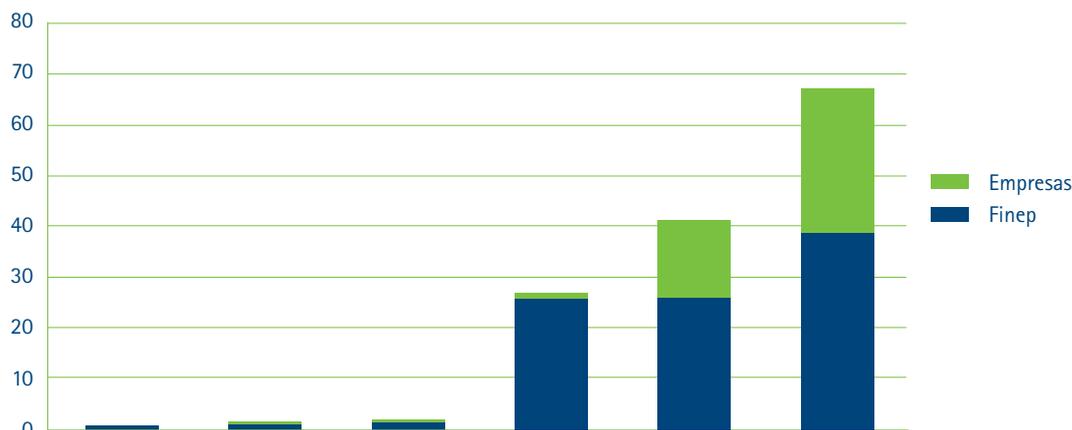
Analisando-se, entretanto, os investimentos previstos neste Programa - um total de R\$69,99 milhões, conforme explicita a tabela 5.3, percebe-se que são tímidos quando comparados aos investimentos mundiais que passaram de US\$1 bilhão em 2000 para US\$12,4 bilhões em 2006 e estão projetados para superarem os US\$40 bilhões em 2010. A figura 5.11 sintetiza os investimentos em nanotecnologias do MCT, via FINEP, também apresentando valores bem inferiores aos volumes que têm sido investidos em nanotecnologias internacionalmente.

Tabela 5.3 - PPDI Para a Nanotecnologia - Recursos (R\$ Milhões)

Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MCT/FNDCT	4,8	6,5	9,5	12,7	33,5
MCT/ outras ações PPA	10,29	8,74	8,59	8,87	36,49
Total	15,09	15,24	18,09	21,57	69,99

Fonte: MCT

Figura 5.11 - Investimentos em Nanotecnologia – Valores por Instrumento



Fonte: FINEP

No Brasil os estudos e pesquisas em nanotecnologias ainda se apresentam, em grande medida, isolados geograficamente e concentrados apenas nas áreas de conhecimento da física, química e biologia., sendo desenvolvidas por grupos de pesquisa pouco numerosos, no interior de Universidades e de centros públicos de pesquisa.

Os determinantes principais de seu desenvolvimento parece ser a busca de oportunidades tecnológicas e a liderança dos trabalhos é exercida por "pesquisadores inventores". Aparentemente, portanto, apesar de avanços pontuais relevantes, no Brasil vivencia-se a fase inicial do desenvolvimento das nanotecnologias, observada nos países líderes há uma década. Com os investimentos concentrados no setor público, a mudança do foco das oportunidades tecnológicas para as oportunidades de mercado, observada internacionalmente, vê-se dificultada. Este aspecto é agravado pelo fato da condução das pesquisas ser efetuado com a ausência de pesquisadores das áreas de economia e de negócios.

Não se dispõe ainda de estatísticas sistematizadas e confiáveis sobre os investimentos privados em nanotecnologia no Brasil, entretanto, parece correto afirmar que o principal desafio às inovações nanotecnológicas é o envolvimento das empresas brasileiras nesse processo de inovação.

O elevado grau de base científica nas nanotecnologias confere papel de destaque aos investimentos públicos na criação de infraestrutura de pesquisa e na capacitação e treinamento de recursos humanos. Tais investimentos constituem-se em fatores chave ao desenvolvimento de capacidade contínua de inovar em nanotecnologia, (que é o que de fato cria a base para a competitividade em nível microeconômico e para a geração de emprego e renda em nível macroeconômico).

Os desenvolvimentos atuais de nanotecnologia no Brasil, seguindo esta característica, estão ocorrendo no interior das Universidades. Ressalte-se, entretanto, que em decorrência, por um lado, do forte caráter de desenvolvimento tecnológico e ainda frágil caráter de processo de inovação nesta área e, por outro, em decorrência da grande diversidade das nanotecnologias em desenvolvimento não é possível concluir pela aglomeração destes investimentos em torno de uma ou de algumas Universidades ou centros de pesquisa. Algumas iniciativas podem ocorrer em torno das Universidades que já possuem redes de pesquisa, porém novas redes podem ser criadas, e principalmente a base multidisciplinar das mesmas precisa ser ampliada, bem como as "oportunidades de mercados" devem nortear tais investimentos (para uma lista das redes de pesquisa existentes no Brasil em 2005, ver a Tabela A2.1, no Apêndice 2 desta NTS)

A primeira empresa nanotecnológica no Brasil, por exemplo, foi a Ponto Quântico Nanodispositivos, localizada em Pernambuco, atuando no mercado de controle, prevenção e diagnóstico de câncer. Criada em 2000, ainda está incubada na Positiva, a incubadora da UFPE. Seu fundador, o pesquisador Petrus d'Amorim Oliveira Santa Cruz, relata que ela funciona como um "braço tecnológico" do Laboratório Associado de Nanodispositivos Fotônicos (Land-Foton), que ele montou há dez anos no Centro de Ciências Exatas e da Natureza da universidade, e do qual é o coordenador. A Ponto Quântico Nanodispositivos possui também um núcleo interno de desenvolvimento de software que pode beneficiar diversas pesquisas na área de nano. (Martins 2007).

Reitere-se, portanto, que é grande a diversidade de tecnologias e de aplicações em ramos distintos da economia, o que tende a deixar escopo para descentralizações dos investimentos em nanotecnologia. Entretanto, a sua distribuição espacial e setorial depende da definição de uma estratégia mais geral com vistas à exploração de especificidades nacionais e de nichos de mercado que possam ser explorados como "janelas de oportunidade" pelo Brasil, aliado à identificação de competências prévias, ainda que incipientes em Universidades, centros de pesquisas e empresas.

No âmbito da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) esforços estão sendo desenvolvidos para definir uma agenda estratégica para o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil para o que foram definidos seis temas estratégicos, a saber: 1) Nanomateriais; 2) Nanoeletrônica, 3) Nanofotônica; 4) Nanobiotecnologia; 5) Nanoenergia; nanoambiente. Tais temas são abrangentes e de fato em vários aspectos estratégicos. Entretanto sua lógica de definição parece ter sido norteadada pela área de pesquisa tecnológica, não pela busca do potencial mercadológico. Este último mostrar-se ia como caminho facilitador, para a efetivação das inovações, uma vez que em cada um destes temas apenas alguns segmentos apresentam "janelas de oportunidade" para o Brasil.

Os nanomateriais, conforme focado pelo NR 2008, apresentam-se como uma indústria concentrada, dominada pelas grandes empresas transnacionais da indústria química, deixando pouco escopo de ação para novos entrantes advindos de trabalho de grupos de pesquisa isolados, que caracteriza estes desenvolvimentos no Brasil. Para empresas nacionais que atuam em nichos de nano revestimentos, e nanopartículas, há "janelas de oportunidade" neste segmento em alguns nichos, por exemplo: no uso de nanopartículas para a produção de bactericidas e fungicidas e revestimentos nanoestruturados, área em que o Brasil tem desenvolvido pesquisa básica e que há relatos de empresas *spin-offs* de laboratórios de pesquisa que figuram no cenário internacional, tais como a Nanox, a CVD Clorovale e a Plasma LIT.

Vislumbram-se, ainda "janelas de oportunidade" na produção de materiais nanoestruturados para a produção de tintas, compósitos poliméricos para a indústria automobilística, compósitos biocompatíveis para próteses e nanopartículas para usos diversos. Há ainda a possibilidade de prospecção de nanomateriais para a construção civil, a denominada nanoarquitetura, área de investimentos promissora e estratégica no Brasil com um amplo mercado interno possível de exploração. A produção de embalagens é outra indústria que apresenta "janelas de oportunidade" para o país

O Brasil apresenta potencialidade ímpar na geração de energia, para o que as nanotecnologias podem tanto ser usadas no aumento da eficiência da produção do petróleo e gás, quanto para a produção de etanol celulósico e, especialmente, para o desenvolvimento de novas gerações de células fotovoltaicas para a produção de energia solar. A energia solar combinada à produção de energia eólica e a fontes tradicionais de geração de energia, pode conferir ao Brasil papel de destaque ainda maior no cenário mundial de geração de energias limpas e renováveis. Considerando-se as dimensões continentais e as condições de luminosidade do território nacional, a produção de energia solar pode representar um mercado nada desprezível.

O tema denominado nanobiotecnologia engloba duas áreas estratégicas que apresentam "janelas de oportunidades" para o Brasil, quais sejam: a de produção de cosméticos e de fitofármacos baseados na biodiversidade brasileira. O Brasil é o maior mercado de cosméticos da América Latina e o terceiro em termos mundiais. Este mercado movimentou US\$1,7 bilhão em 2008, com projeções de crescimento de 100% nos próximos quatro anos. Adicionalmente é segmento onde os trabalhos de pesquisa da UFGRS e investimentos das principais empresa nacionais do setor (Natura e Boticário) tem resultado em inovações. Identificam-se ainda, neste segmento, algumas "novas entrantes" de menor porte, a exemplo da empresa ADCOS, sediada no Espírito Santo, que tem apresentado bom desempenho nesta indústria.

A nanomedicina é outra área estratégica merecedora de criação de linhas específicas de apoio e foco de formação de recursos humanos qualificados. Os trabalhos da UNB e em torno do Projeto Genoma, em São Paulo, têm gerado inovação. Na indústria farmacêutica e de produtos odontológicos identificam-se resultados positivos de pesquisa e inovação empresarial.

Na indústria têxtil, em especial nos segmentos voltados para o uso no setor de saúde, e o de calçados, têm “janelas de oportunidade” para aproveitar voltando-se para o abastecimento do mercado interno, inicialmente. Esta é outra área em que trabalhos desenvolvidos na UNICAMP têm apresentado resultados positivos e identificam-se empresas investindo em nanotecnologia no segmento. Finalizando, tecnologias e empreendimentos voltados para a mitigação dos problemas ambientais são também áreas em que investimentos em aprofundamento de estudos prospectivos e fomento empresarial devem ser priorizados.

5.3. Perspectivas de Médio e Longo Prazos para os Investimentos

Mantendo-se as tendências observadas no volume e perfil dos investimentos em nanotecnologias, internacionalmente e no Brasil, as expectativas apontam para a instauração de um inexorável “*gap*” tecnológico e econômico entre o Brasil e países como Estados Unidos, países europeus, Japão, China e Índia, em decorrência do desenvolvimento e uso das nanotecnologias nas mais diversas atividades econômicas.

Importante tendência em curso internacionalmente, a registrar, refere-se à concentração econômica, com o predomínio crescente das grandes corporações transnacionais da indústria química.

A comercialização de produtos com conteúdo nanotecnológico que hoje já supera a cifra de um milhão de produtos tenderá a crescer exponencialmente, em decorrência da constância e expressividade dos investimentos públicos e privados, em curso e projetados, nos países supramencionados. Tendência que se não acompanhada pelo Brasil tenderá a gerar desnacionalizações de empresas e deslocamentos de mercados de produtos brasileiros, no mercado nacional e nos de exportação.

No setor de energia a tendência é aumentar a ênfase na produção de energias renováveis. A energia solar apresenta-se como uma das mais promissoras, com expectativas de que novas gerações de células fotovoltaicas com base nanotecnológicas capazes de tornar a produção de energia solar em larga escala custo efetivas estejam no mercado no horizonte próximo de três anos (NIAP 2007-2010). Adicionalmente a energia eólica, biocombustíveis, biorefinarias e células a combustível são outras áreas promissoras em termos tecnológicos e mercadológicos.

Os cenários tecnológicos representam em verdade o potencial de desenvolvimento tecnológico embasado em competências espalhadas em algumas universidades e centros de pesquisa, em grande medida norteado pela curiosidade acadêmica dos pesquisadores e não vinculadas a estratégias de desenvolvimento de competitividade nacional na área.

A conversão destas potencialidades em inovação e em desenvolvimento econômico, por um lado requer um audacioso programa de capacitação de recursos humanos em nanotecnologia nas mais diversas áreas e não apenas em física e química (embora nestas áreas a capacitação também deva ser ampliada). Por outro lado, cada uma destas potencialidades tecnológicas poderá se concretizar em estruturas de mercado diferenciadas com níveis de concentração econômica e perspectiva de ampliação da demanda diferenciadas, razão pela qual estudos aprofundados de potencialidades econômicas das mesmas precisam ser efetuadas na definição da agenda estratégica.

Adicionalmente, na definição de estratégias é fundamental buscar-se identificar fatores ou nichos em que se apresenta potencialidade diferenciada. Finalmente, a transformação de uma agenda de prospecção tecnológica em uma estratégia de inovação em nanotecnologia bem sucedida requer necessariamente que sua construção seja efetuada com as empresas investidoras e não apenas com a ciência das mesmas.

5.4 Proposições de Políticas, Instrumentos e Estratégias para o Investimento

- 1) Construção de estrutura de Governança que coordene as ações do Governo Federal, no financiamento das N&T no Brasil de acordo com uma Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável do país, conferindo aos investimentos nesta área o estatuto de investimentos estratégicos. Com papéis chaves para o BNDES, MCT, Ministério das Minas e Energia, Ministério da Agricultura, da Indústria e Comércio e do Meio Ambiente;
- 2) Investir em Educação e treinar novas gerações de cientistas e de trabalhadores em N&T. Desenvolvimento de uma política ousada e de longo prazo de capacitação de recursos humanos em N & T vinculada a consistentes cooperações internacionais; nas áreas técnicas, econômicas, social, ambiental e de saúde relacionadas às nanotecnologias. Concretamente financiar a inserção do ensino da nanotecnologia nos diversos níveis do ensino. Em nível de graduação, mestrado e doutorado concessão de financiamento a pesquisa e de bolsas não apenas nas tradicionais

- áreas de física, química, biologia e engenharia, mas também nas áreas econômicas, jurídicas e sociais;
- 3) Investir em Estudos de prospecção e monitoramento dos Setores Estratégicos com foco específico para as inovações nanotecnológicas, e criação de linhas de crédito específicas visando o aproveitamento de "janelas de oportunidade" presentes na produção de cosméticos e fito fármacos, de nanomateriais, na indústria têxtil, na produção de aços especiais, na área de nanoarquitetura, na produção de embalagens, de revestimentos, de dispositivos de Tecnologias de Informação e de energias renováveis;
 - 4) Investir na organização de fóruns de diálogo com o setor empresarial, por segmento industrial, visando parcerias nacionais e internacionais em áreas estratégicas;
 - 5) Investir na criação de base de conhecimento e infraestrutura institucional para avaliar os impactos científicos, tecnológicos econômicos e sociais das nanotecnologias e suas implicações nos curto e longo prazo. Investir em capacitação de recursos humanos e em pesquisa nestas áreas;
 - 6) Investir em estrutura, metodologias e competências para lidar com a percepção pública dos desenvolvimentos nanotecnológicos;
 - 7) Investir em informação e envolvimento do público sobre os impactos das nanotecnologias visando ao monitoramento contínuo das oportunidades e riscos destas tecnologias; Investir em pesquisa, capacitação e infraestrutura para análise de risco e para a normatização das atividades e produção de nanotecnologias.

Mundialmente, as nanotecnologias representam uma área de crescimento exponencial em termos de investimentos públicos e privados; em número de publicações e de patentes, em termos de crescimento de oportunidades de mercado, em termos de desafios quanto à formação de recursos humanos capacitados, de desenvolvimento de padrões e regulamentos relativos à segurança social e ambiental do desenvolvimento e aplicação das nanotecnologias, representando amplo espectro de desafios e oportunidades para países como o Brasil. Com as ações atualmente concentradas no MCT e os cortes de investimentos na área de Ciência e Tecnologia recentemente anunciados pelo governo federal, reforça-se a necessidade de direcionamento de crédito de fomento a esta área, lastreado em ações empresariais e norteado por perspectivas de oportunidades de mercado através da exploração das "janelas de oportunidade" mencionadas.

6. DINÂMICA DOS INVESTIMENTOS EM NOVAS FONTES DE ENERGIA

Esta seção baseia-se na NT de Catari Vilela Chaves sobre novas fontes de energia.

O consumo de eletricidade tem aumentado muito no país, em razão do crescimento econômico (ver tabela 6.1 e gráfico 6.1) e da eletrificação.

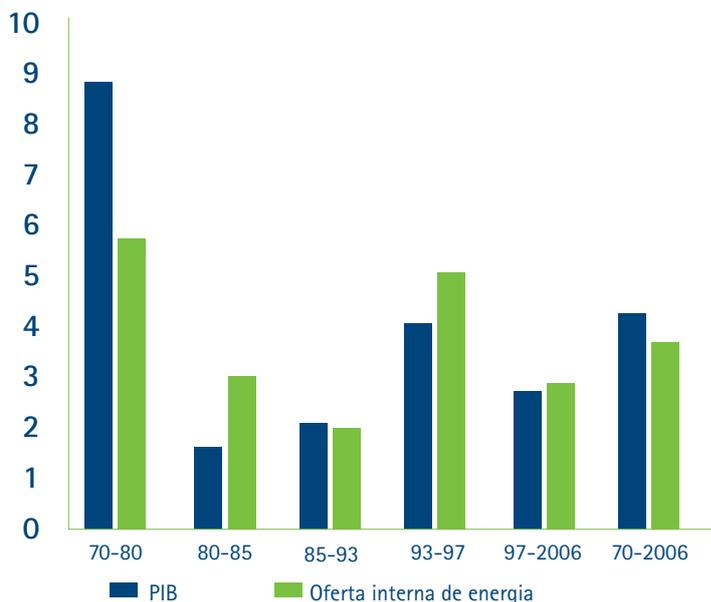
Entre 1970 e 1980, o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro cresceu a uma taxa média de 8,6% a.a. O consumo de determinadas formas de energia também cresceu, e a taxas expressivas: a eletricidade, a 12% a.a.; os derivados de petróleo, a 8,2% a.a. As principais causas deste crescimento estão relacionadas à dimensão territorial do país, a opção de utilização em maior escala do transporte rodoviário, a evolução da indústria de base e da infraestrutura necessária para atender as demandas das regiões brasileiras. A oferta interna de energia cresceu cerca de 5% ao ano, mesmo com os elevados níveis de consumo de eletricidade e de derivados do petróleo (BEN, 2007).

Tabela 6.1 - Taxas de Crescimento do PIB e da Oferta Interna de Energia (1970-2006)

Período	PIB	Oferta Interna de Energia
70-80	8,6	5,5
80-85	1,3	2,7
85-93	1,8	1,7
93-97	3,8	4,8
97-2006	2,4	2,5
70-2006	4	3,4

Fonte: BEN, 2007.

Figura 6.1 - Taxas Médias de Crescimento (%) – 1970 A 2006



Fonte: BEN, 2007.

No entanto, quando o país passou a enfrentar um ambiente macroeconômico recessivo, a partir dos anos 1980, principalmente após a segunda elevação dos preços internacionais do petróleo em 1979, as taxas de crescimento tanto do PIB como da OIE caíram substancialmente. Duas diretrizes econômicas marcaram o início dos anos 1980: (a) substancial expansão da indústria intensiva em energia (principalmente setores de exportação como: aço, alumínio e ferroligas); (b) adoção de políticas de redução do consumo de petróleo e seus derivados (BEN, 2007).

E assim, a economia do país passou a crescer a taxas consideravelmente menores, cerca de 1%, chegando a níveis negativos em 1981 e a níveis mais elevados em 1985. No entanto, o consumo de eletricidade cresceu cerca de 7% ao ano, o carvão utilizado na siderurgia 9,1% ao ano e o consumo da biomassa, cerca de 4% ao ano. Apenas o consumo de derivados do petróleo caiu aproximadamente 2%. Mas, a partir de 1985, houve uma redução nos preços internacionais do petróleo e as fontes internas de energia foram perdendo força, principalmente com a volta da utilização em maior escala dos derivados do petróleo (BEN, 2007).

Com a estabilização da economia, em meados dos anos 1990, os índices de crescimento da economia e do consumo interno de energia melhoraram. Neste período, tanto a taxa de crescimento do PIB como da OIE foram de cerca de 5% ao ano. A utilização dos derivados de petróleo cresceu a uma taxa média de 7% ao ano, a eletricidade 5,1% ao ano e a biomassa, cerca de 2% ao ano. Houve também um crescimento de cerca de 8% tanto para a eletricidade residencial como comercial. Os derivados do petróleo assumiram grande importância para as altas taxas de consumo de energia, e de acordo com o BEM (2007), isto aconteceu devido à melhor distribuição de renda ocorrida após a implantação do Plano Real.

No entanto, no final dos anos 1990, devido principalmente à crise cambial nos países asiáticos, o governo brasileiro precisou tomar algumas medidas que, como consequência, geraram uma forte contração no crescimento econômico. Isto se refletiu no crescimento do consumo de diferentes tipos de energias, principalmente aquelas relacionadas ao uso individual, como o álcool hidratado, a gasolina automotiva, entre outros. A oferta de energia neste período cresceu cerca de 2% ao ano (BEN, p.29, 2007).

Com a desvalorização da moeda, ocorrida no início dos anos 2000, a economia brasileira mostrou alguns sinais de recuperação. O PIB cresceu cerca de 4% ao ano. O crescimento do PIB foi alavancado principalmente pelo setor de comércio, de extração mineral, entre outros. A indústria de transformação cresceu algo em torno de 2% ao ano e o consumo de energia foi considerado incomum. A OIE apresentou uma taxa de crescimento menor que 1%, principalmente devido ao baixo desempenho dos setores intensivos em energia e também da manutenção do baixo consumo de energia individual (BEN, p.29, 2007).

6.1. Dinâmica Global do Investimento

6.1.1. Caracterização das Novas Fontes de Energia

A geração de eletricidade fornece 18000 terawatts-hora de energia por ano. Isto representa cerca de 40% do total de energia utilizado pela humanidade. São produzidos mais de 10 gigatonnes de dióxidos de carbono todos os anos. No entanto, existem outras formas de geração de energia que podem gerar eletricidade sem emissão de carbono. Uma resposta às mudanças climáticas deve envolver a mudança para fontes de eletricidade livres de carbono.

Para isso, é necessário repensar o preço do carbono e nas novas tecnologias, além de novos sistemas de transmissão e redes (de energia) mais inteligentes. As energias limpas aparecem como uma forma de solução para o problema. Mas, para isto, é preciso verificar quais são as vantagens, desvantagens, necessidades para a geração de eletricidade através de energias livres de carbono. Devem ser considerados também aspectos relacionados ao armazenamento, transmissão, custos, limitações e perspectivas.

Abaixo são apresentados alguns dos aspectos mencionados acima sobre diversas fontes de eletricidade, entre elas, hidrelétricas, energia nuclear, biomassa, eólica, geotérmica e solar.

a) Hidrelétricas

Aproximadamente 20% da eletricidade consumida no mundo é gerada pelas hidrelétricas, que são a principal fonte de energia cerca de 160 países. Elas fornecem 10 vezes mais energia do que geotérmica, eólica e solar juntas e só perdem para os combustíveis fósseis. Os países Brasil, Canadá, China, Rússia e EUA atualmente produzem mais da metade da eletricidade mundial gerada por hidrelétrica.

Para a *International Hydropower Association* – IHA (Associação Internacional de Hidrelétricas), os custos de instalação de uma hidrelétrica estão na faixa de US\$1 milhão e US\$ 5milhões por megawatt de capacidade, dependendo do local e tamanho da planta. Os custos operacionais anuais são considerados baixos – 0,8% a 2% do custo de capital. O custo do

KW-hora estão entre US\$0,03 a US\$0,10, o que torna as barragens competitivas em relação ao carvão e ao gás. Entre as vantagens das hidrelétricas estão: a não necessidade de uma infraestrutura de extração e transporte de combustíveis; a independência de condições climáticas; e, entre os sistemas geradores de eletricidade, os sistemas hidrelétricos são capazes de armazenar a energia gerada em qualquer lugar.

No entanto, podem ser apresentadas algumas desvantagens. Entre elas, destacam-se a ausência de recursos hidroelétricos em todos os países do mundo; a necessidade de grandes espaços para os reservatórios de água (desocupação destas áreas); além da necessidade de longos e dispendiosos planejamentos de custo e construção. Outra desvantagem relacionada-se ao meio ambiente, as represas representam uma barreira para a migração de peixes. Ainda mais, por se tratar de uma tecnologia madura, há pouco espaço para melhoramento na eficiência deste tipo de geração de energia.

b) Energia Nuclear

Para gerar eletricidade, via energia nuclear, é necessário combustível (urânio, plutônio, etc) para operar. Isto não é considerado um problema, pois se sabe que as reservas mundiais já descobertas podem operar por muitos anos e outras ainda estão por ser descobertas. Se de fato existir a evolução tecnológica esperada, a energia nuclear poderá suprir a demanda mundial de energia por muito tempo.

Entre as vantagens da energia nuclear, destacam-se o baixo custo do kilowatt-hora (US\$0,025 e US\$0,07). No entanto, deve-se analisar o custo do investimento. Trata-se de uma fonte de energia de capital intensivo e as plantas são de vida longa.

As desvantagens ou os problemas relacionados à energia nuclear são mais políticos e envolvem questões de riscos de acidentes, como vazamentos, preocupações com possíveis atentados terroristas ou ataques de inimigos, como guerras, entre outros. Além disso, destaca-se outro grande problema: o tratamento/destinação dos resíduos/sobras (lixo nuclear). Embora já existam novas tecnologias que tendem a reduzir os resíduos/sobras, a questão do aquecimento global tem levado à revisão da utilização de energia nuclear, inclusive por ambientalistas mais pragmáticos.

c) Biomassa

A biomassa foi a primeira fonte de energia para a humanidade. A madeira, resíduos de colheita e outras fontes biológicas são consideradas importantes fontes de energia para mais de dois bilhões de pessoas.

No que diz respeito ao custo deste tipo de energia, pode-se afirmar que o preço da eletricidade gerada a partir da biomassa depende da disponibilidade, do tipo de combustível e do custo para transportá-lo. O custo do kilowatt-hora é cerca de US\$ 0,02 quando a biomassa é queimada com carvão em uma central elétrica convencional.

Entre as desvantagens da biomassa, destacam-se algumas limitações: disponibilidade de terra, eficiência da fotossíntese e oferta de água. Além disso, a quantidade de terra disponível é também necessária para prover alimentação para uma população crescente. Desta maneira, a sustentabilidade deste tipo de energia em longo prazo pode não ser possível. Mais que isso, a dependência da bionergia pode causar uma crise energética por seca ou peste, e a mudança no uso da terra pode ter efeitos no clima: limpar terrenos para as culturas energéticas pode produzir emissões a uma taxa que dificulta a própria cultura.

Em 2007, a OECD estimou que há cerca de meio bilhão de hectares de terra não utilizada na agricultura que poderia ser adequada para a produção de biomassa e ainda, sugeriu que em 2050 estas terras, acrescidas dos resíduos das colheitas, dos resíduos das florestas e do lixo orgânico, seriam capazes de prover material suficiente para gerar cerca de 68.000 terawatt-hora de energia.

Entre as vantagens da biomassa, destacam-se a maturidade e a eficiência das tecnologias necessárias utilizadas para queimar a biomassa. Além disso, a utilização de sistemas pequenos usando resíduos de colheitas pode minimizar os custos de transportes. Mais que isso, se queimada em centrais elétricas aptas para capturar carbono, a biomassa deixa de ser carbono-neutra para ser carbono-negativa. Sendo assim, a biomassa torna-se a única tecnologia capaz de reduzir os níveis de dióxido de carbono da atmosfera.

d) Eólica

A energia eólica tem se expandido de forma mais rápida do que seus defensores poderiam imaginar há alguns anos. Nos EUA, foram adicionados 5,3 GW de capacidade eólica em 2007 – 35% da nova capacidade de geração de energia do país – e ainda existem outros 225 GW já planejados. Há mais capacidade de geração de energia eólica sendo planejada nos EUA do que de plantas de carvão e gás juntas.

No que diz respeito ao custo de instalação de energia eólica, pode-se dizer que ele é de cerca de US\$1,8 milhão por MW na costa do território e de US\$2,4 a US\$3 milhões fora da costa. Em termos de KW-hora, pode-se afirmar que seu custo está entre US\$0,05 e US\$0,09, fazendo com que a energia eólica seja competitiva com o carvão na parte inferior da série. Com resíduos, como ocorre em muitos países, o custo cai abaixo do custo do carvão. O principal limite para as instalações eólicas no momento é a rapidez com que a indústria fabrica as turbinas.

Entre as vantagens da energia eólica, destaca-se, principalmente, a não necessidade de combustível. O único custo relaciona-se à construção e manutenção das turbinas.

No entanto, entre as desvantagens, destacam-se a intermitência e a necessidade de medidas adicionais para lidar com a variabilidade do fornecimento (acima de 20% de capacidade de rede). No curto prazo, uma desvantagem é que os lugares onde há mais vento são raramente os mais populosos, e então a energia eólica necessita de desenvolvimento de infraestrutura – especialmente para locais fora da costa.

e) Geotérmica

Atualmente, a capacidade instalada mundial de energia geotérmica é de cerca de 10 GW e na primeira metade desta década, cresceu muito pouco, apenas cerca de 3% ao ano. O calor da Terra pode ser usado de forma direta. Na realidade, pequenas bombas de calor geotérmicas que aquecem diretamente residências e escritórios podem representar a maior contribuição que o aquecimento da Terra pode fornecer para o orçamento de energia mundial.

O custo do sistema geotérmico depende das condições geológicas. Há um relatório do MIT, elaborado por Jefferson Tester, que estima o custo de explorar os melhores locais – aqueles com uma grande quantidade de água quente circulando perto da superfície. Este custo é de aproximadamente US\$0,05 por KW-hora.

Como principal vantagem, destaca-se a não necessidade da utilização de combustível. No entanto, como desvantagens, destacam-se a exploração em grande escala, que requer tecnologias, mesmo que viáveis, não demonstradas de forma robusta.

Assim, pode-se afirmar que sem desenvolvimentos espetaculares, é improvável ultrapassar as hidrelétricas e a eólica, além de atingir um terawatt.

f) Energia Solar

Alguns problemas e dificuldades estão relacionados à utilização da energia solar como fonte de eletricidade. Entre eles, destacam-se: o custo de produção, de US\$0,25 a US\$0,40 por kilowatt-hora, os locais de utilização, a dificuldade de armazenamento em larga escala/ quantidade, bem como os custos de armazenamento. Para a transmissão, as dificuldades são relacionadas à distância entre os locais que demandam muita energia e aqueles onde a energia é produzida. Para o armazenamento, são necessárias baterias, que além de caras, têm capacidade reduzida.

Entre as vantagens deste tipo de fonte de energia, destaca-se a matéria prima, inesgotável e sem custo, bem como a não geração de resíduos. Além disso, o potencial de crescimento, a possibilidade de pequenas unidades de geração de energia podem ser mencionados. Mais que isso, este tipo de fonte de energia tem muita perspectiva de desenvolvimento.

Para este relatório, a energia solar como fonte de geração de eletricidade foi explorada de forma mais intensa. Nas seções posteriores, serão apresentadas, com maior detalhe, as vantagens, desvantagens, perspectivas de desenvolvimento, bem como outros aspectos relacionados a este tipo de energia.

6.1.2. A Energia Solar: A Conversão Termosolar e o Módulo Fotovoltaico

De maneira geral, o conceito de desenvolvimento sustentável relaciona crescimento socioeconômico e preservação ambiental, no sentido de atender as necessidades das gerações atuais sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Uma das manifestações mais importantes sobre este tema foi a conferência realizada em 1992, no Rio de Janeiro, conhecida como ECO-92. Elaborou-se um documento – Agenda 21 – numa tentativa de orientação para um novo padrão de desenvolvimento para o século XXI, cuja base é a sustentabilidade ambiental, social e econômica (Agenda 21, 2004).

Na busca de equacionar os problemas decorrentes da crescente demanda por energia do país e de limitar a emissão de gases de efeito estufa, a utilização de energias limpas voltou ao debate nacional.

No sentido de resolver os problemas da crise ambiental provocados pela emissão dos gases de efeito estufa, as fontes alternativas de energia como energia solar, eólica, biomassa, etc, são bem vistas pela sociedade. Elas representam solução sustentável, fonte de energia limpa e renovável. De acordo com Berman (2008), essas fontes são responsáveis por aproximadamente 12,7% da oferta energética mundial e poderão chegar a 14% em 2030. Porém, o Brasil possui vantagem comparativa nesta área, pois mais de 40% da Matriz Energética do país é renovável.

Conforme pode ser observado na tabela 6.2, o consumo total de energias renováveis no Brasil representa 41,3% do total, enquanto no resto do mundo representa apenas 14,4%. Nesse sentido, é importante avaliar o potencial de desenvolvimento que o país possui para que as autoridades competentes possam decidir as melhores estratégias a seguir nesta área.

Tabela 6.2 - Energia Primária no Brasil e no Mundo em 2003, Total em Parcelas Conforme dados da Agência Internacional de Energia (IEA)

Energia primária			Brasil	Mundo
Total, bilhões de Tep			0,19	10,70
Não renováveis	Fósseis	Petróleo	43,60	35,30
		Gás natural	6,60	20,90
		Carvão	6,80	24,10
	Nuclear	1,80	6,40	
	Subtotal		58,70	86,60
Renováveis	Tradicionais	Biomassa	19,00	9,40
	Convencionais	Hidráulica	15,30	2,10
	Modernas, "novas"	Biomassa Moderna	6,90	1,20
		Outras: solar, eólica, etc	< 0,1	1,70
	Subtotal		41,30	14,40

Fonte: Extraída de Goldemberg e Lucon (2007).

Entre 2005 e 2006, as fontes renováveis aumentaram sua participação relativa na matriz energética, tanto no Brasil (45,1%) quanto no resto do mundo (12,7%). Estes dados estão ilustrados na tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Estrutura de Participação das Fontes Renováveis e Não Renováveis. Brasil, Países da OCDE e Mundo – 2006-2007 (%)

	Fontes Renováveis	Fontes Não-Renováveis
Brasil (2006)	45,1	54,9
OECD (2005)	6,2	93,8
Mundo (2005)	12,7	87,3

Fonte: BEN, 2007.

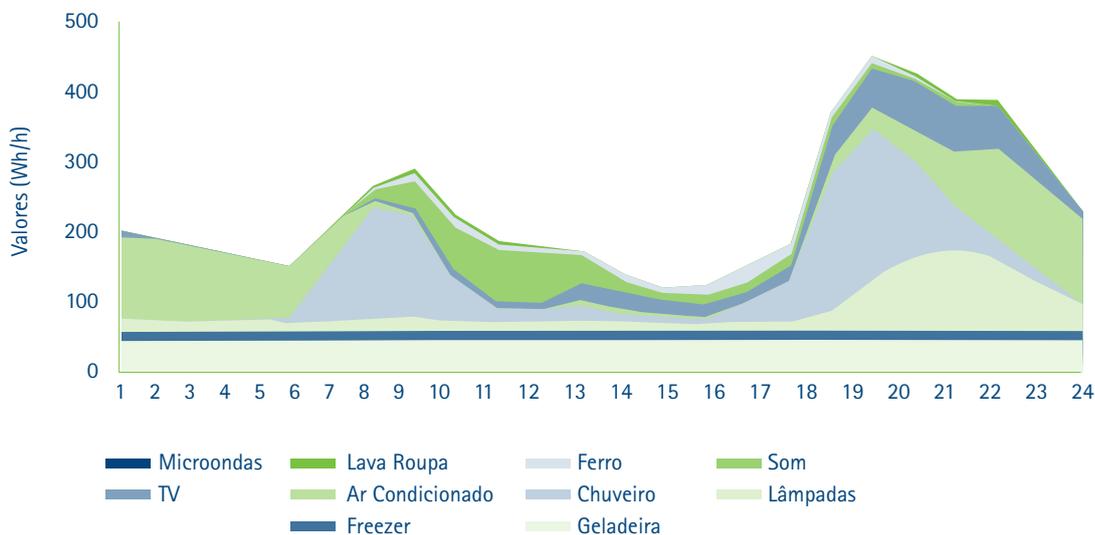
Em relação à energia solar, podem-se destacar algumas vantagens para seu desenvolvimento: é uma fonte de energia inesgotável, cuja "matéria prima" não possui custo; permite pequenas unidades de geração de energia para residências, prédios, fábricas; não são poluentes (sem resíduos); fonte de energia com muita perspectiva para crescimento/desenvolvimento futuro (NEWS FEATURE, 2008).

A radiação solar pode ser utilizada de duas maneiras: a primeira como aquecimento de água e a segunda como fonte de energia elétrica, através da conversão fotovoltaica.

Os benefícios da utilização desta tecnologia de aquecimento são relacionados principalmente à redução do gasto com energia elétrica convencional para aquecimento de água, ou especificamente, à redução do gasto de energia com o uso do chuveiro elétrico. Atualmente no Brasil, a utilização desta tecnologia ocorre com maior intensidade nos estados do Sul e do Sudeste.

Embora tenha sido a melhor solução técnica encontrada à época, o chuveiro elétrico hoje representa 25% do consumo de energia doméstica, chegando a 35% nos horários de pico. Isto acontece pois é o equipamento elétrico que apresenta maior potência nominal de uma residência (COLLE, 2008). Desta maneira, ao analisar a figura 6.2, é possível afirmar que a substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar é estratégica.

Figura 6.2 - Impacto do Aquecimento de Água para o Setor Elétrico



Fonte: Extraído de Pereira (2008).

No entanto, Pereira (2008) apresenta algumas barreiras para esta substituição: os custos iniciais do aquecimento solar são altos; não são encontrados ainda profissionais capacitados em número suficiente ligados a estas áreas de atuação; é necessário haver profissionalização do setor industrial em questão, criar legislação ou incentivo que estimule o uso de aquecedores solares, entre outras. Os custos iniciais elevados se devem aos materiais utilizados para a fabricação dos aquecedores; à falta de economia de escala para a produção de coletores solares; dificuldade de automatização nos processos de fabricação, etc. Segundo Colle (2008), mesmo apresentando custos iniciais elevados, a implantação de um sistema de aquecimento solar implica em redução do gasto com energia elétrica. O impacto da redução faz com que o retorno ao investimento inicial seja de aproximadamente sete anos.

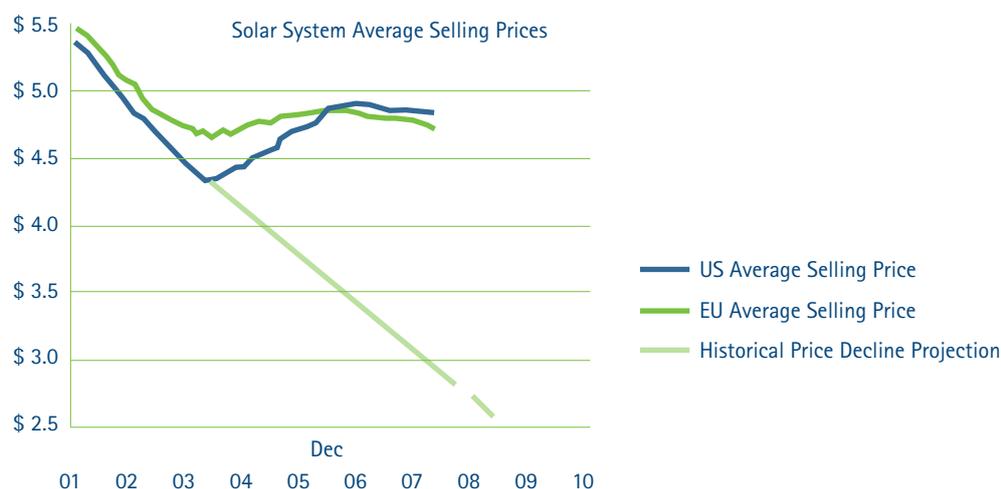
No que diz respeito ao módulo fotovoltaico, pode-se afirmar que a conversão direta da energia solar em energia elétrica acontece pelo efeito da radiação solar em alguns tipos de materiais semicondutores. Por meio de células solares, ocorre a conversão de energia solar em energia elétrica. No Brasil, este tipo de tecnologia é mais encontrada em estados do Norte e Nordeste, mais especificamente em comunidades isoladas das redes de energia elétrica.

Os benefícios do uso da energia solar fotovoltaica estão relacionados principalmente ao meio ambiente. Trata-se de energia limpa, não poluente e sem resíduos; é fonte de energia inesgotável, cuja "matéria prima" não possui custo; permite pequenas unidades de geração de energia para residências, prédios, fábricas; fonte de energia com muita perspectiva para crescimento/desenvolvimento futuro.

Sob o ponto de vista social, a utilização desta tecnologia permite o fornecimento de energia elétrica para residências e principalmente povoados isolados. Isto é possível, pois a geração de energia solar fotovoltaica é descentralizada.

No entanto, os problemas principais destacados pela literatura referem-se ao custo de produção elevado, ao armazenamento e à transmissão da energia solar fotovoltaica. Mesmo sendo considerado elevado, o preço do módulo fotovoltaico, utilizado na conversão de energia solar em energia elétrica, caiu significativamente, tanto nos EUA quanto na Europa, conforme pode ser visto Na figura 6.3.

Figura 6.3 - Declínio no Preço do Módulo Fotovoltaico



Fonte: www.eere.energy.gov/solar

6.1.3. Identificando a Produção Científica e Tecnológica no Subsistema Produtivo de Energia Solar

Para avaliar a produção científica e tecnológica no subsistema de inovação em energia solar, é necessário verificar como ocorre esta relação no mundo e, especificamente, no Brasil.

Posteriormente à construção dos bancos de dados, serão apresentados alguns dos estudos que estão sendo realizados por universidades e institutos de pesquisa do Brasil.

Indicadores de produção tecnológica – patentes

O documento das patentes (solicitadas e concedidas) encontradas no *Derwent Innovation Index* e no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) contém as informações utilizadas para a elaboração da base de dados sobre produção tecnológica no mundo e no Brasil, respectivamente. Estes dados são utilizados como *proxies* da produção tecnológica e estão disponíveis em: www.isiknowledge.com e <http://www.inpi.gov.br>.

De acordo com a tabela 6.4, o país que possui o maior número de patentes no Derwent é o Japão (3.250), seguido de Estados Unidos (3.050), Alemanha (2.262) e China (2.259). O Brasil (178) aparece em décimo segundo lugar em termos de número de patentes no Derwent.

Tabela 6.4 - Países com Maior Número de Depósitos de Patentes (Derwent) no Mundo. 1962 A 2008

País	Número de Patentes
Japão	3250
EUA	3050
Alemanha	2262
China	2259
PCT	1383
França	933
European	874
União Soviética	338
Coreia	287
Itália	232
Reino Unido	206
Brasil	178
Espanha	153

Fonte: Derwent Innovation Index (2008)

No Brasil, a maioria dos depósitos de patentes é de pessoas físicas. Algumas empresas aparecem entre os patenteadores brasileiros, entre elas, a CEMIG, Heliodinâmica, Polisol do Brasil, etc. Também aparecem institutos de pesquisa e universidades, como Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Universidade Federal do Rio de Janeiro. O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) também aparece com depósito de patente no Derwent.

Analisando os dados por empresas (tabela 6.5), a Sanyo (594) é a que aparece em primeiro lugar em termos de número de depósitos de patentes. Em segundo lugar a Canon, com 563 patentes. Outras conhecidas empresas deste segmento também aparecem com representatividade significativa: Sharp (173), Kyocera (81), Siemens (63), etc.

Tabela 6.5 - As Maiores Empresas Patenteadoras no Segmento de Energia Solar.

Empresa	Número de patentes
Sanyo	594
Canon	563
Matsushita	297
Sharp	173
Mitsubishi	170
Kyocera	81
Hitachi	65
Siemens	63
Agency of Ind S&T	59

Fonte: Derwent Innovation Index (2008)

Indicadores de produção científica – artigos científicos

Os dados sobre artigos foram obtidos a partir da base de dados do *Institute for Scientific Information (ISI)* – composto pelo *Science Citation Index Expanded (SCI)* e *Social Sciences Citation Index (SSCI)*. Estes dados são utilizados como *proxies* da produção científica e estão disponíveis em isiwebofknowledge.com.

É importante ressaltar, por um lado, que esta base de dados não inclui toda a produção científica do país. Por outro lado, esta base de dados abrange apenas os periódicos mais importantes de cada área do conhecimento e permite fazer comparações internacionais em termos dos países e/ou regiões.

Para analisar a infraestrutura científica por país, a busca foi realizada por palavras chave, como energia solar e energia fotovoltaica.

Posteriormente, em workshop sobre energia solar a ser realizado nos dias 24 e 25/11, a pesquisa será refinada através de entrevista com especialista da área, para avaliar o papel das universidades e institutos de pesquisa para o desenvolvimento científico e tecnológico em energia solar.

Conforme tabela 6.6, ao longo de 1974 a 2006, foram publicados 5.482 artigos científicos sobre energia solar.

Tabela 6.6 - Número de Artigos de Energia Solar e Fotovoltaica, Indexados pelo ISI, por Ano, 1974 - 2006

Ano	N° de artigos	Ano	N° de artigos
1974	67	1991	119
1975	113	1992	107
1976	114	1993	135
1977	160	1994	149
1978	127	1995	162
1979	169	1996	170
1980	142	1997	162
1981	116	1998	196
1982	136	1999	176
1983	119	2000	193
1984	210	2001	207
1985	177	2002	185
1986	161	2003	225
1987	170	2004	265
1988	164	2005	280
1989	141	2006	368
1990	97	Total	5482

Fonte: ISI, 2008

A tabela 6.7 apresenta os resultados da produção científica mundial sobre energia solar, quando o critério de busca é o país do primeiro autor. Observa-se a liderança dos EUA, seguido da Inglaterra e Holanda; o Brasil aparece em 25º lugar, com publicação de cinco artigos com o primeiro autor ligado a instituição brasileira.

Tabela 6.7 - Número de Artigos de Energia Solar e Fotovoltaica, Indexados pelo ISI, por País

País	N° de artigos	País	N° de artigos
Estados Unidos	1982	Romênia	8
Inglaterra	1622	África do Sul	7
Holanda	546	Tailândia	7
Suíça	343	Ucrânia	7
Alemanha	196	Singapura	6
Japão	185	Brasil	5
França	117	Arábia Saudita	4
Rússia	116	Áustria	4
China	85	Bélgica	3
Índia	54	Grécia	3
Itália	31	Israel	3

País	Nº de artigos	País	Nº de artigos
Canadá	23	Nova Zelândia	3
Polônia	21	Egito	2
Hungria	19	Etiópia	2
Austrália	18	México	2
Espanha	12	Taiwan	2
Suécia	11	Turquia	2
Coreia do Sul	10	Outros	12
República Tcheca	9	Total	5482

Quando o critério utilizado para a busca foi o de procurar pelo menos um autor brasileiro dentre todos os autores do artigo, ao invés de se procurar apenas o primeiro autor do artigo, os resultados mostraram que os brasileiros publicaram 53 artigos, distribuídos por estado, conforme tabela 6.8. Os estados líderes na produção científica são: São Paulo, Pernambuco e Paraná, respectivamente.

Tabela 6.8 - Número de Artigos de Energia Solar e Fotovoltaica, indexados pelo ISI, por Estado

Estado	Número de artigos
SP	22
PE	8
PR	6
PB	3
RJ	3
SC	3
CE	2
MG	2
AC	1
BA	1
PA	1
RN	1
Total	53

Fonte: ISI, 2008.

6.1.4. O Tamanho do Mercado Existente no Mundo Hoje e Distribuição por Países

De acordo com o CGEE (p. 51, 2008), o tamanho do mercado mundial de energia solar em termos de potência instalada, entre 1993 e 2006, era de aproximadamente 5,8 gigawatts (GW), sendo que 90% deste valor representava sistemas conectados à rede. Até dezembro de 2006, a distribuição por país era a seguinte: o Japão possuía 1,7 GW; a Alemanha, 2,6 GW; os Estados Unidos, 610 MW e o resto do mundo 867 MW.

É interessante citar como a interação entre o governo e as empresas industriais japonesas promoveram o Japão à condição de líder mundial em energia solar no período citado acima.

"o Japão começou, em 1994, um programa para fortalecer sua industrialização. Houve reunião entre a Sharp, Kyocera, Sanyo, Mitsubishi e outras empresas japonesas. Houve um compromisso das empresas com o investimento forte na industrialização da tecnologia fotovoltaica. Foi um programa do governo, subsidiado, que durou de 1996 a 2006. De 2005 para 2006, já tiveram uma redução do subsídio. (...) O importante é perceber que, apesar de não ter mais subsídios no Japão, se tem um mercado significativo de quase 50.000 residências – o que sustenta a industrialização do Japão" (p. 52, 2008).

De 1993 a 2007, o número de instalações passou de 5,8 GW para 8,5 GW, o que significa que mais de 3 GW foram instalados em 2007.

As projeções internacionais apontam um cenário mundial muito promissor para a área de energia solar: a demanda mundial até 2020 será de 16 GW para a Ásia, 13 GW para a Europa; 9 GW para os Estados Unidos e 6 GW para o Japão.

Este crescimento da demanda mundial explica o surgimento de um número cada vez maior de empresas neste mercado bem como a falta de silício no mercado mundial.

6.1.5. Uma Sistematização das Iniciativas Públicas de Peso nessas Áreas: A Solar American Initiative (Sai) e a Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS)

Em 2006, os Estados Unidos lançaram duas importantes iniciativas, consideradas estratégicas pelo governo americano, na área de energias renováveis: *American Competitiveness Initiative* (ACI) e *Advanced Energy Initiative* (AEI).

Para ampliar e assegurar recursos de P&D para o programa de energia solar do AEI foi criada a *Solar America Initiative* (SAI), cuja ênfase é a geração de energia elétrica e aquecimento.

A seriedade do tratamento dado à diversificação da matriz energética e, mais especificamente, à expansão do setor de energia solar, é tal que o departamento de energia dos EUA – U. S. *Departamento of Energy* – está diretamente envolvido com as ações do SAI para assegurar que seus objetivos sejam alcançados. Entre estes, destacam-se:

- 1 - Acelerar as pesquisas e desenvolver novas tecnologias para reduzir custos dos sistemas fotovoltaicos;
- 2 - Desenvolver novas tecnologias para expandir a capacidade de produção da indústria de energia solar americana.

Conforme figura abaixo, as projeções de redução do custo da energia solar fotovoltaica para 2015 são significativas em função da presença da SAI no cenário nacional.

Figura 6.4 - Projeções de Redução do Custo da Energia Solar Fotovoltaica

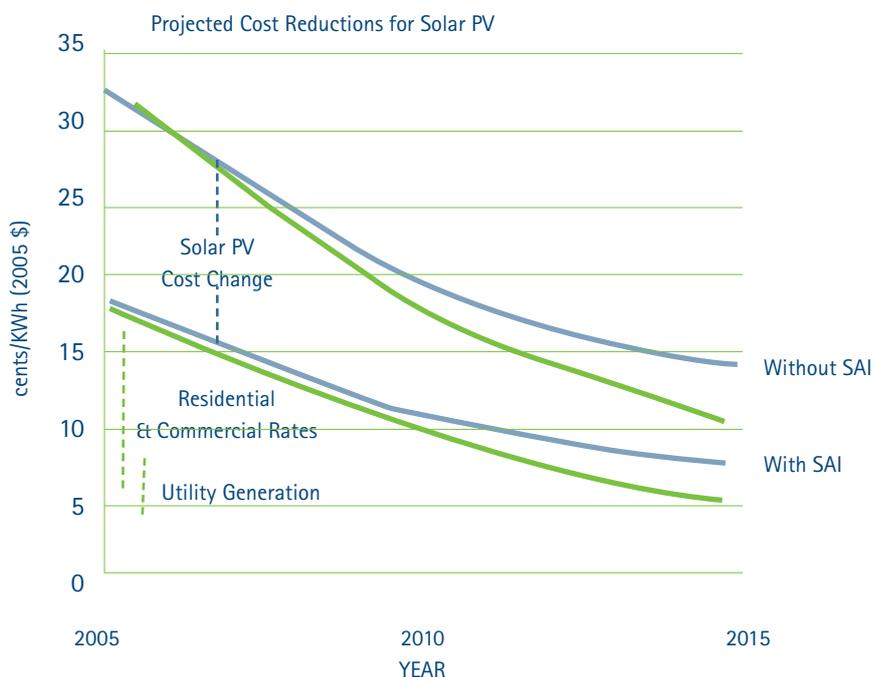
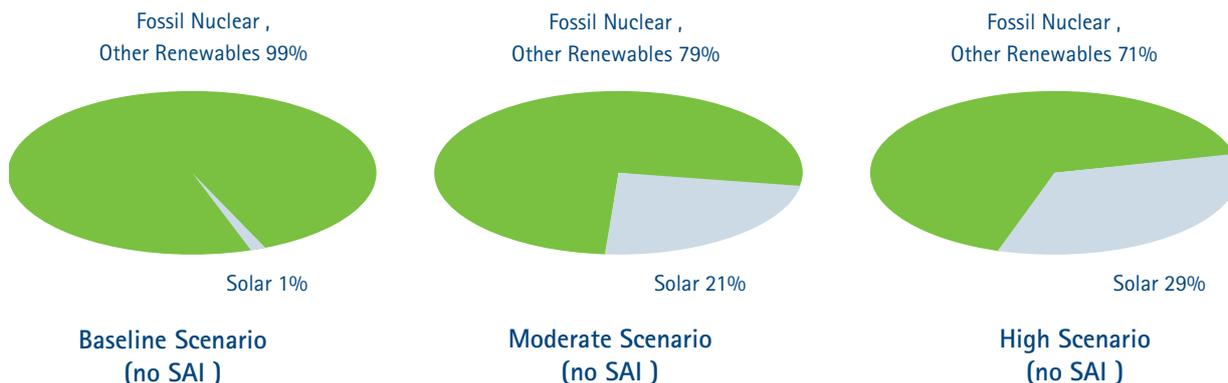


Figure 1-1. Projected PV Cost Reductions across All Market Sectors within SAI

Fonte: SAI (2007)

A consequência imediata desta ação é o aumento da capacidade produtiva do sistema de energia solar. A SAI apresenta projeções de três cenários alternativos para o setor, conforme figura 6.5. Observa-se que, até 2030, o consumo de energia solar poderá ficar entre 21% e 29%.

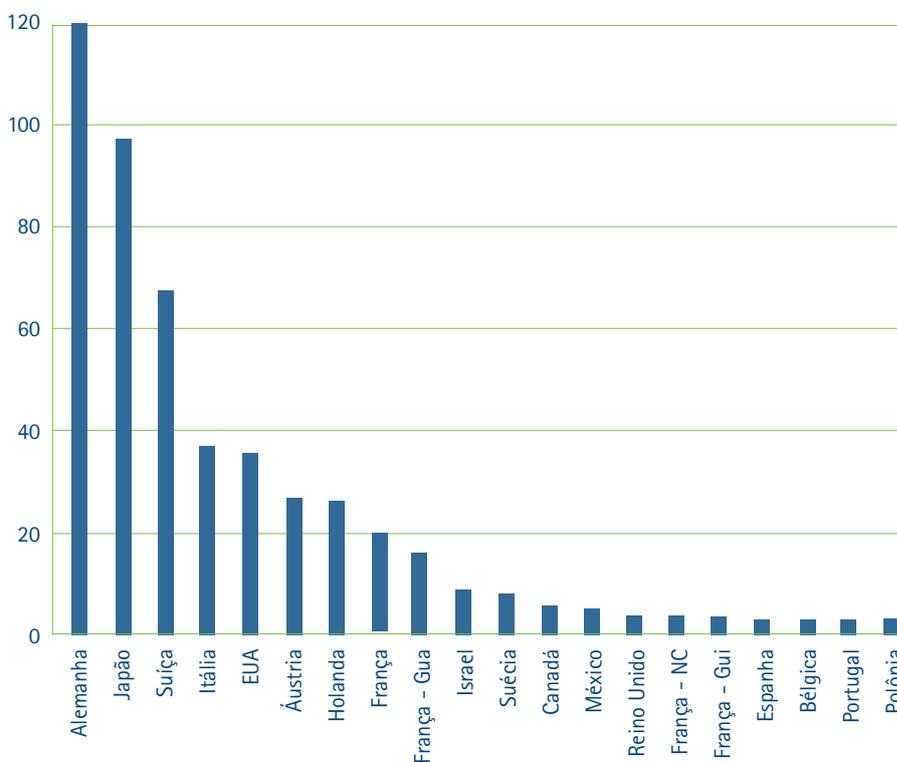
Figura 6.5- Cenários Alternativos para o Setor de Energia Solar



Fonte: SAI, 2007.

A Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*) realiza um programa, o *IEA Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS)*, que representa acordos entre a IEA e os países participantes. O intuito do programa PVPS é fortalecer os esforços de colaboração internacional que aceleram o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica como uma significativa e sustentável opção de energia renovável. Os participantes conduzem uma variedade de projetos em colaboração que aplicam a conversão de energia solar fotovoltaica em eletricidade. São membros da IEA: Austrália, Áustria, Canadá, Dinamarca, União Europeia, França, Alemanha, Israel, Itália, Japão, Coreia, Malásia, México, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido e Estados Unidos. Segundo a agência, as plantas fotovoltaicas (PV) estão distribuídas entre os países membros de acordo com a figura 6.6. A Alemanha, o Japão, a Suíça e a Itália são os países que possuem o maior número de plantas fotovoltaicas. Estes países também possuem as maiores produções científica e tecnológica no mundo na área de energia solar.

Figura 6.6 - Número de Sistemas Fotovoltaicos por País. 1983-2005



Fonte: IEA, 2008.

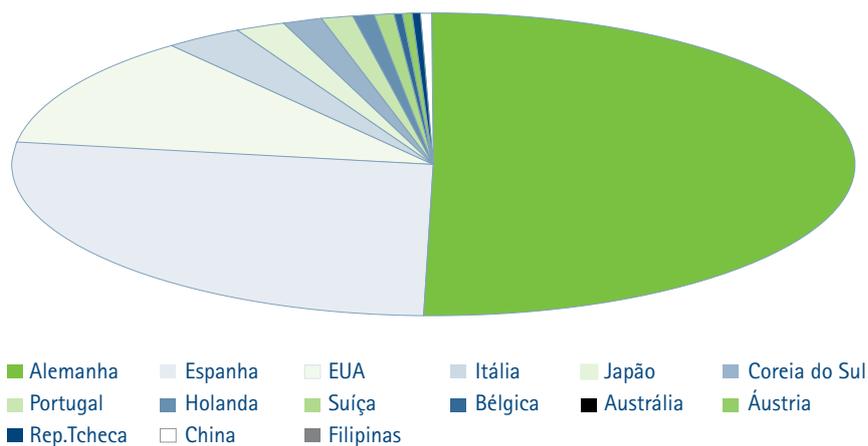
A participação no mercado dos países, em termos de potência nominal instalada, é apresentada na tabela 6.9 e na figura 6.7. Os dados referem-se a dezembro de 2007. A Alemanha é o país com maior participação neste mercado (47,47%), seguida da Espanha (28,04%) e Estados Unidos (15,48%). Cerca de 90% dos sistemas fotovoltaicos são conectados à rede.

Tabela 6.9 - Participação no Mercado em Termos de Potência Nominal Instalada (%) – Dezembro 2007

País	Participação no mercado (%)
Alemanha	47,47
Espanha	28,04
EUA	15,48
Itália	1,87
Japão	1,74
Coreia do Sul	1,40
Portugal	1,24
Holanda	0,95
Suíça	0,54
Bélgica	0,35
Austrália	0,23
Áustria	0,23
Rep. Tcheca	0,18
China	0,18
Filipinas	0,12

Fonte: Annual Report (2008).

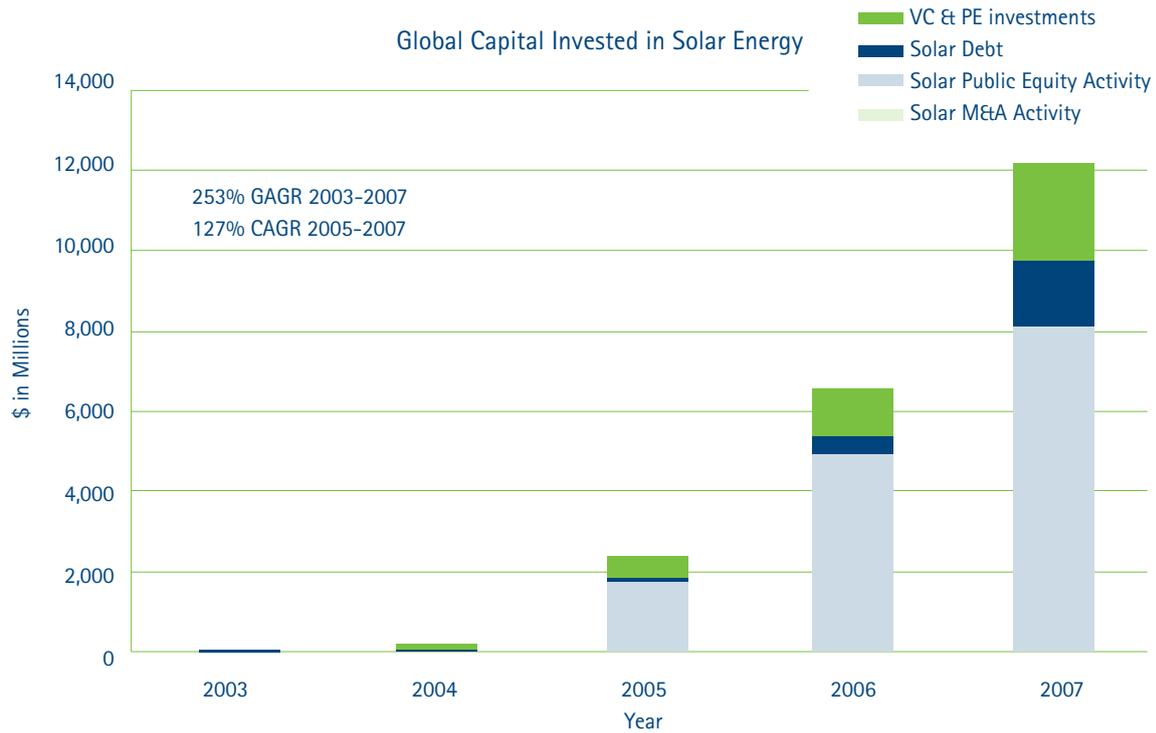
Figura 6.7 - Participação no Mercado em Termos de Potência Nominal Instalada (%) Dezembro – 2007



Fonte: Adaptado do Annual Report (2008).

Em 2007, nos EUA, o montante de capital total investido em energia solar atingiu cerca de 12 bilhões de dólares, conforme figura 6.8.

Figura 6.8 - Investimento Total em Energia Solar

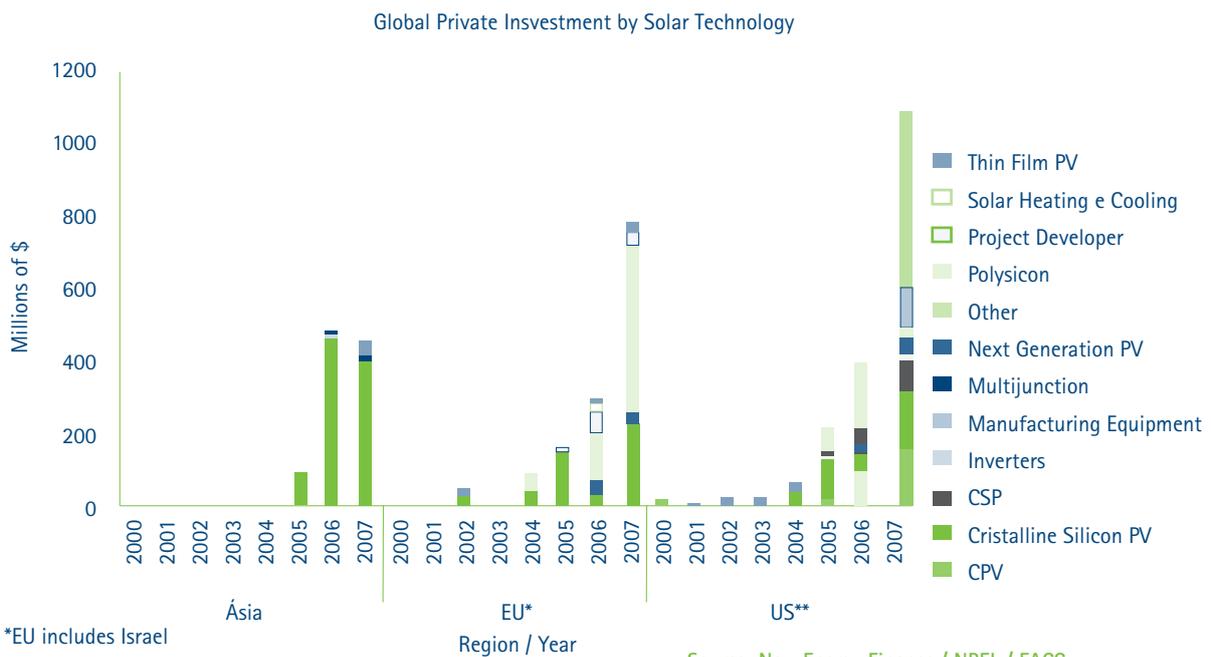


* Excluding government R&D and project finance investments
 Fonte : www.eere.energy.gov/solar

Source: New Energy Finance / NREL / FACC

A tendência de crescimento no nível de investimentos em energia solar fotovoltaica ocorre tanto nos EUA quanto na Europa e na Ásia, conforme pode ser visto na figura 6.9. Em 2007, nos EUA, o montante de capital privado investido em energia solar atingiu cerca de 1,1 bilhão de dólares, diversificado ao longo de toda a cadeia produtiva, com destaque para a tecnologia de filmes finos; na Europa, o montante de capital privado investido no mesmo período foi de aproximadamente 0,8 bilhão de dólares, com destaque para a tecnologia de polisilício; na Ásia, em 2007, o montante de capital privado investido foi de aproximadamente 0,45 bilhão, com destaque para o silício cristalino.

Figura 6.9 - Investimento Privado Total em Energia Solar

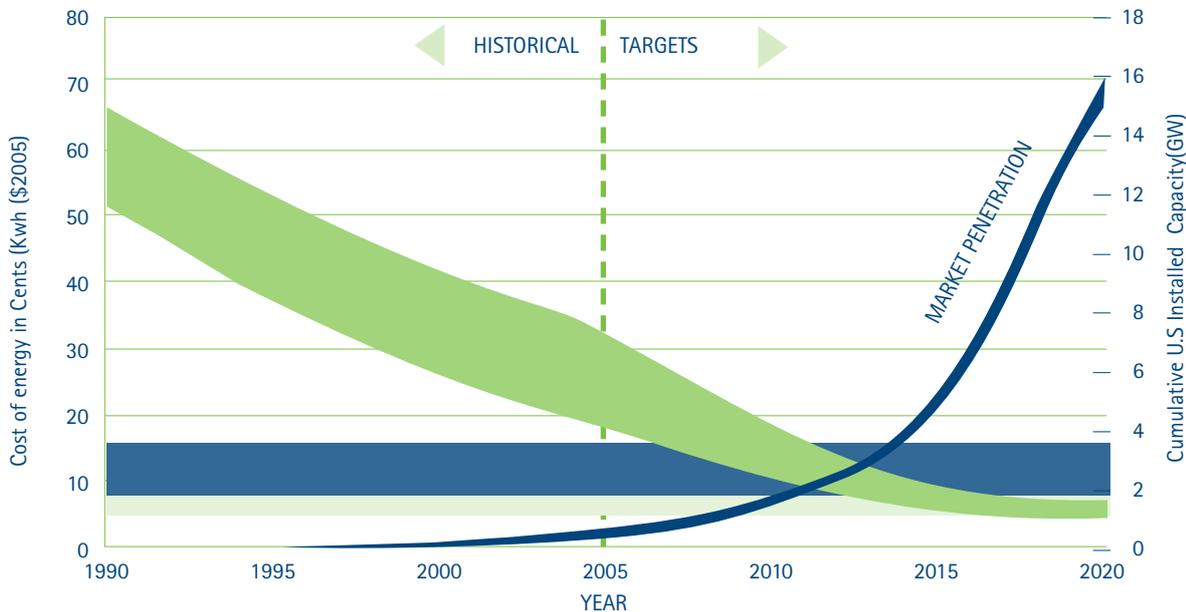


*EU includes Israel
 **U.S. includes Australia and Canada
 Fonte : www.eere.energy.gov/solar

Source: New Energy Finance / NREL / FACC

A tendência é que haja queda substantiva no custo de fabricação da energia solar fotovoltaica. As consequências imediatas serão a queda nos preços de venda dos sistemas de energia solar e o aumento de sua inserção no mercado. Estima-se que o consumo americano passará de 4 GW em 2005 para 16 GW em 2020 (ver figura 6.10).

Figura 6.10 - Custo de Fabricação e Capacidade Cumulativa Instalada de Energia Solar



Market Sector	Current U.S Market Price Range (\$/KWh)	Cost (\$/KWh) Benchmark 2005	Cost (\$/KWh) Target 2010	Cost(\$/KWh) Target 2015
Residential	5.8-16.7	23-32	13-18	8-10
Commercial	5.4-15.0	16-22	9-12	6-8
Utility	4.0-7.6	13-22	10-15	5-7

Fonte:www.eere.energy.gov/solar

6.1.6. Empresas Mais Importantes Atualmente no Subistema Produtivo

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IAE), ao longo de 1983 a 2005, as quatro principais empresas do mundo que fabricam plantas fotovoltaicas são a Siemens (71), Kyocera (66), BP-Solar (46) e Shell (38), conforme pode ser visto na tabela 6.10.

Tabela 6.10 - As Maiores Fabricantes de Plantas PV - 1983-2005

Empresa	Nº de plantas
Siemens	71
Kyocera	66
BP-Solar	46
Shell	38
Photowatt	36
Solarex	22
AEG MQ	19
Sharp	19
ASE Americas	16
Eurosolare	14
Astropower	12

Fonte: <http://www.iaa-pvps.org/>

É interessante observar na tabela 6.11 que a classificação das empresas muda um pouco quando o critério de pesquisa é a potência nominal instalada (em kwp). A Eurosolare (4.447,67 kwp) empresa italiana passa para o primeiro lugar. A Kyocera (2.072,74 kwp) mantém-se em segundo lugar, à frente da Siemens (1.741,97 kwp), que passa a ocupar o terceiro lugar no *ranking* internacional. A BP-Solar (702,06 kwp) e a Shell (627,21 kwp) passam para o quinto e o sexto lugares, respectivamente.

Tabela 6.11 - Instalação de Plantas Fotovoltaicas por Empresas 1983 - 2005 (Em Kwp)

Empresa	Potência Nominal
Eurosolare	4447,67
Kyocera	2072,64
Siemens	1741,97
Wurth Custom Made.	992,18
BP-Solar	702,06
Shell	627,21
Ansaldo AMD	496,88
Solarex	317,34
Sharp	288,08
Solution Colombier	214,53
Daido - Hoxan H-65.	200,77
ASE Americas	189,75
Sanyo	158,70
IBC 120S Megaline	99,60
GPV 110 M	85,30
Arco Solar G4000	76,24
Isofoton I - 165	74,56
Pragma 72DG/SOL	71,40
Canon BS-01	66,39
DASA MQ36/D53	58,15
Matsusita BP-K54SH.	51,48
Mitsubishi Unknown	50,71
NAPS 450 NM 110	50,55
AEG MQ 36D	48,62
Biohaus / Isofoton.	48,08
Photowatt BPX380	45,02
Astropower AP100	37,50

Fonte: <http://www.iea-pvps.org/>

6.2. Tendências do Investimento no Brasil

6.2.1. Cadeia Produtiva – Estrutura

Nos módulos fotovoltaicos utilizados na conversão da energia solar em energia elétrica, estão as células solares. Elas apresentam algumas vantagens para o meio ambiente no que diz respeito a sua utilização. Não há ruídos, não há poluição, resíduos ou até mesmo risco de acidentes (MARQUES, 2008).

De acordo com Branco (2008), a cadeia produtiva dos módulos fotovoltaicos segue a seguinte trajetória:

Silício ► Lâmina ► Célula ► Módulo ► Sistema

Para a produção das células solares podem ser utilizados matérias primas como: silício cristalino, silício monocristalino, silício multicristalino, silício amorfo, fitas ou filmes finos (ambos de silício), entre outros. (ZANESCO E MOEHLECKE, 2008).

No Brasil, existe uma grande reserva de silício, no entanto, é necessário que sejam realizadas pesquisas que gerem um material purificado. O silício é abundante no Brasil e representa um mercado bastante interessante. A produção do silício mais puro, além de representar uma evolução da tecnologia em energia solar, oferece oportunidades otimistas em relação ao sucesso do negócio. No Brasil, são grandes as oportunidades, pois este material existe em abundância, há demanda para o silício mais puro e é um negócio que cresce em valor.

O mercado para esta cadeia produtiva possui muitas barreiras à entrada e exige nível elevado de investimentos, principalmente nos dois primeiros estágios da cadeia. Esta cadeia produtiva garante a fabricação de um módulo fotovoltaico que permite transformar a energia solar em energia elétrica.

Os sistemas fotovoltaicos são divididos em dois grandes grupos: os sistemas autônomos e os sistemas interligados à rede. Os sistemas fotovoltaicos autônomos, que hoje no Brasil podem ser usados no programa Luz para Todos, levam energia elétrica para população isolada da rede elétrica. São constituídos de um painel de módulo fotovoltaicos e baterias com controladores. Sistemas de bombeamentos também são classificados como sistemas autônomos, entre outros. Atualmente, o grande mercado mundial está voltado para sistemas conectados e interligados com a rede elétrica. Estes podem ser em forma de sistemas integrados nas edificações ou em grandes centrais fotovoltaicas. Eles são constituídos de painéis fotovoltaicos, associação de módulos, um inversor. Este sistema troca energia com a rede elétrica: durante o dia temos sol, produz-se energia elétrica e ela é injetada na rede; à noite se obtém energia elétrica da rede (ZANESCO e MOEHLECKE, 2008).

6.2.2. Iniciativas Públicas na Área de Energia Solar Fotovoltaica (Esf) no Brasil: PRODEEM e Luz Para Todos

O Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), coordenado pelo Ministério das Minas e Energias (MME), foi instituído em 1984. Um de seus objetivos era a eletrificação rural para comunidades que não podiam ser atendidas pela rede elétrica convencional, através de fontes renováveis de energia. A proposta era levar luz elétrica para comunidades carentes e mais especificamente, para escolas, igrejas, centros comunitários, clínicas de saúde, etc. e implantar sistemas de bombeamento de água.

Na primeira fase do programa, foram investidos R\$1,5 milhão destinados a 117 comunidades, espalhadas por todo o Brasil.

De acordo com o Cresesb Informe, os principais resultados obtidos foram: "aumento do número de alunos com a escola noturna; incremento da produção de alimentos com a irrigação comunitária e geração de emprego e renda; maior acesso à informação e conscientização com a TV-comunitária e a TV-escola".

Em 2003, o PRODEEM passou por uma reestruturação e foi integrado ao Programa Nacional de Universalização – Luz para Todos. O programa está orçado em R\$7 bilhões e sua meta é levar energia elétrica para cerca de doze milhões de brasileiros até 2008. O governo federal deverá desembolsar cerca de R\$5,7 bilhões e fazer parcerias com estados e distribuidoras de energia, que deverão arcar com o restante dos recursos.

6.2.3. Dados de Investimento no Brasil

De acordo com Soriano (2008), o montante de investimentos que o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) está destinando e destinará, entre 2008 e 2009, para a área de energia solar fotovoltaica é da ordem de R\$18 milhões. A tendência é que os investimentos realizados por esta instituição nos próximos cinco ou seis anos sejam da ordem de R\$8 a R\$10 milhões por ano. A ideia central é que estes investimentos sejam concentrados para os grupos de pesquisa já consolidados no país. Ou seja, os recursos não serão distribuídos aleatoriamente para não dispersar o foco da pesquisa. O direcionamento dos recursos servirá de guia para organizar a pesquisa no país, de acordo com as competências que estão sendo desenvolvidas. Além disto, haverá um esforço no sentido de montar uma rede na área de fotovoltaica. Por exemplo, o CETEC fabrica os *waffers* e o CB Solar utiliza esses *waffers* do CETEC (ao invés de importá-los) para fazer as células fotovoltaicas; o CETEM está investindo no início da cadeia produtiva e deverá interagir com o CETEC, que está investindo na purificação do silício grau solar; etc.

Em última instância, segundo Soriano, o MCT está propondo um modelo de gestão que organiza a pesquisa e que difunde a tecnologia. Por exemplo, o CB Solar, apesar de ser um centro de pesquisa dentro de uma universidade, assumirá também o papel de concentrar a tecnologia de algumas partes da cadeia produtiva.

Aliado ao modelo de gestão, há também um plano composto das seguintes metas:

- 1 – Conseguir o silício em grau solar;
- 2 – Produzir silício em grau solar, lembrando que o silício em grau metalúrgico custa um dólar e o silício grau solar custa 70 dólares, pois nós exportamos o primeiro mas não exportamos o segundo;
- 3 – Produzir células no Brasil;
- 4 – Produzir módulos no Brasil;
- 5 – Produzir os componentes eletrônicos necessários no Brasil;
- 6 – Especificar alguns nichos de mercado no Brasil;
- 7 – Montar a cadeia produtiva visando não só o mercado interno, mas também o mercado internacional.

Um levantamento do CGEE (p. 14-15, 2008) sumariza o que está sendo feito no Brasil:

- 1 – O CB-SOLAR da PUC-RS estão desenvolvendo uma planta pré-industrial para fabricar células e módulos fotovoltaicos;
- 2 – O LABSOLAR da UFSC desenvolve pesquisas em coletores solares e análise do desempenho de instalações fotovoltaicas autônomas, para locais remotos, ou interligados à rede elétrica;
- 3 – O INMETRO tem certificação para apoiar a indústria de módulos, inversores e baterias. O Instituto tem laboratórios para apoiar P&D de tecnologias chaves da indústria de energia fotovoltaica;
- 4 – O INPI pode fazer o levantamento de todo o desenvolvimento da tecnologia de células fotovoltaicas;
- 5 – O CETEC e a CEMIG têm um papel importante na área de integração de sistemas fotovoltaicos;
- 6 – O IME tem trabalhado com filmes finos para células solares há mais de 20 anos, e atualmente, com telureto de cádmio;
- 7 – No Brasil, os sistemas autônomos são econômicos, se comparados aos custos da eletrificação convencional estendido a longas distâncias.
- 8 – Recursos para eletrificação rural no Brasil estão equacionados pelo programa Luz para Todos;
- 9 – Há importante mercado de equipamentos para o Brasil em se tratando de desenvolvimentos para sistemas autônomos ou mesmo os conectados à rede;
- 10 – A PETROBRAS planeja instalar uma unidade de produção de lâminas de silício monocristalino a partir de silício de grau metalúrgico através da rota Siemens;
- 11 – Grupos industriais: a DOW CORNING está comercializando silício policristalino purificado, grau solar. E a RIMA, prevê comercialização de lâminas, ou silício, para 2010. A CONERGY comercializa sistemas fotovoltaicos em todo o País. A planta solar da MPX, que está sendo construída no município de Tauá, no Ceará operará, em janeiro de 2009, produzindo um MW; no primeiro trimestre de 2010, cinco MW.

Há também informações de que a empresa japonesa Kyocera está montando células solares na Bahia.

6.3. Perspectivas de Investimento no Médio Prazo e no Longo Prazos

No Brasil, pode-se afirmar que há maturidade em termos de pesquisa de células solares e também de conversores termo-solares. De acordo com o CGEE (2008, p. 7): "Instituições de P&D nacionais como o CB SOLAR, LABSOLAR, CETEC, CETEM, IME, INMETRO e INPI podem dar contribuições significativas à cadeia produtiva de energia fotovoltaica, pois essas articulam potenciais e competências em: prospecção, caracterização e descontaminação de quartzo para produção de silício metalúrgico e grau solar; desenvolvimento de planta pré-industrial de células e módulos; desenvolvimento de coletores solares e análise do desempenho de instalações autônomas ou interligadas à rede elétrica; capacidade certificadora em módulos, inversores e baterias; levantamento de competências na tecnologia de módulos fotovoltaicos para auxiliar *roadmaps*; competência para integração de sistemas fotovoltaicos, relacionado a edificações e ao design; e, estudos avançados para desenvolvimento de novas tecnologias como filmes finos".

Porém, em termos da produção industrial, há um gargalo que precisa ser equacionado. O Brasil possui uma das maiores reservas de quartzo para a produção de silício grau solar, que é a matéria prima fundamental para a produção das células solares. No entanto, o país não possui nenhuma indústria na área de silício grau solar nem de células solares fotovoltaicas (CGEE, 2008). A partir da abertura econômica do país, empresas brasileiras que produziam células/lâminas solares foram prejudicadas com o aumento da concorrência externa inviabilizando a produção deste tipo de tecnologia que, atualmente, acontece em escala laboratorial.

6.3.1. Timing da Entrada: O Momento Atual é Adequado, Janela de Oportunidade Ainda Está Aberta

A partir da literatura de economia da tecnologia, a hipótese do trabalho é que o Brasil deve entrar em áreas que estão se desenvolvendo, como a área de energia solar, cujo paradigma tecnológico ainda não está completamente amadurecido e, por isto, oferece janelas de oportunidades. Por isto, o momento atual é mais que oportuno para o país entrar neste mercado. A janela de oportunidade está aberta, pois a demanda mundial por energia solar fotovoltaica está crescendo. Assim, a cada dia que passa, surgem mais empresas neste mercado e novos países começam a produzir. O exemplo da China é ilustrativo desta situação. A China entrou neste mercado e hoje produz para consumo interno e exporta para o resto do mundo. Possui cerca treze indústrias (o Brasil não possui nenhuma) e, segundo estimativas dos especialistas, deverá ultrapassar o Japão nos próximos anos.

Em todos os países do mundo, para que a indústria fotovoltaica se desenvolvesse, foi preciso que o governo concedesse subsídios, pois o custo de produção é mais elevado que o custo de produção de energia elétrica convencional. O governo destes países entende que investir em energia solar é uma questão estratégica, por isto consideram que vale a pena gastar mais hoje para ter um futuro sustentável.

Se o governo brasileiro quiser investir neste segmento, não terá outro caminho a seguir, a não ser criando mercado, através de políticas públicas que incentivem o desenvolvimento industrial.

Em relação ao desenvolvimento do mercado e da indústria, Soriano (2008) relaciona as seguintes medidas a serem tomadas:

- 1 – Criação de linha de crédito para o consumidor final adquirir os sistemas fotovoltaicos;
- 2 – Sistema de incentivos fiscais para os consumidores que desejam instalar sistemas fotovoltaicos interligados à rede;
- 3 – Programa de incentivos para o desenvolvimento de uma indústria nacional.

6.3.2. Situação Atual de Infraestrutura De C&T e de Recursos Humanos em ESF

Segundo Soriano (2008), as principais recomendações em termos de pesquisa e desenvolvimento são:

- 1 – Integração dos grupos de pesquisa, abrangendo ciência, tecnologia desenvolvimento e aplicações;
- 2 – Implantação de uma rede de pesquisa para ampliar os recursos humanos. O MCT está negociando um edital da ordem de R\$15 a R\$20 milhões para investir em recursos humanos (iniciação científica, mestrado e doutorado) para incentivar a formação na área de energia;
- 3 – Instalação de planta piloto para a produção de módulo fotovoltaico e silício de grau solar;
- 4 – Apoio para o desenvolvimento dos componentes dos sistemas fotovoltaicos com tecnologia nacional;
- 5 – Incentivo à pesquisa básica e aplicada em células fotovoltaicas.

6.4. Proposições de Políticas

As recomendações de políticas dos especialistas que estiveram presentes no Workshop sobre Energia Solar, realizado em Belo Horizonte, e dos especialistas presentes seminário do CGEE (2008), apontam os seguintes caminhos:

- 1 – Promover política industrial, de desenvolvimento científico e tecnológico para o silício grau solar, célula solar (com mais de um tipo de tecnologia) e sistemas fotovoltaicos.
- 2 – Promover o desenvolvimento das indústrias fabricantes de equipamentos eletrônicos e integrá-las aos núcleos dinâmicos de P&D presentes no país.
- 3 – Promover o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva.
- 4 – Associar o desenvolvimento das políticas de longo prazo de incentivo de energia solar a um amplo programa de política industrial na área de energia.
- 5 – Promover política direcionada para a utilização da energia solar fotovoltaica conectada à rede de distribuição de energia elétrica.
- 6 – Promover regulação para a energia solar e, especificamente, para sua conexão à rede elétrica
- 7 – Desenvolver capacitação em termos de pesquisa e desenvolvimento, de modo a reduzir o custo de produção da energia solar fotovoltaica e, conseqüentemente, ampliar o mercado para esta fonte de energia.
- 8 – Promover a capacitação em termos de recursos humanos, pois atualmente faltam técnicos e pessoal ao nível de graduação, especialização, mestrado e doutorado para atender as demandas área (instalação, manutenção e operação dos sistemas fotovoltaicos).
- 9 – Criar mercado, como foi feito no mundo inteiro, no sentido de oferecer às indústrias nascentes, incentivos e subsídios, pois o custo da energia solar fotovoltaica ainda é elevado relativamente às demais fontes de energia.
- 10 – Divulgar o uso de energia solar junto à sociedade para criar a cultura de utilização de fontes de energias limpas.

7. SÍNTESE ANALÍTICA: PERSPECTIVAS DE MÉDIO E LONGO PRAZOS DOS INVESTIMENTOS NO SISTEMA PRODUTIVO

A partir das exposições sobre os quatro setores aqui avaliados, essa seção busca apresentar uma síntese da análise como uma forma de introdução à próxima seção, de caráter propositivo.

Esta síntese analítica, de acordo com o esquema acertado com a Coordenação Geral da Pesquisa, deve ser organizada de forma que possibilite a comparação de cenários de médio e longo prazo (respectivamente 2012 e 2020).

A construção de cenários em áreas baseadas na ciência, envolvendo tecnologias ainda emergentes, é bastante arriscado. Aliás, a própria discussão sobre a biotecnologia é uma mostra sobre o papel da incerteza e da imprevisibilidade nessas áreas – a persistência da sua caracterização como tecnologia emergente é uma mostra disso.

Por isso, toda cautela é necessária nesses exercícios. O principal papel da discussão de cenários parece ser a identificação de oportunidades e desafios que essas tecnologias emergentes podem oferecer para países no estágio de desenvolvimento do Brasil. Dessa forma, a preparação do país para dar conta desses desafios e para aproveitar oportunidades abertas é essencial.

Apesar da dificuldade de previsão acertada de trajetórias tecnológicas e do ritmo da transformação de uma tecnologia de emergente para estabelecida e consolidada, os dados apresentados nas seções 1 e 2 parecem suficientes para apontar as tendências mais gerais dessa evolução. O que para a discussão deste tópico parece ser suficiente: quanto mais cedo e quanto melhor for a preparação do Brasil para a entrada efetiva nesses setores, melhor para o processo nacional de *catching up*. Aliás, se esse processo de transição de emergente para consolidada for mais lento nos países avançados, melhor para um país como o Brasil.

Essas observações iniciais contribuem para a explicação da estrutura desta seção. Inicialmente é apresentado um rápido sumário das tendências internacionais mais importantes, em termos de estrutura de investimentos dos setores, e uma avaliação da posição alcançada pelo Brasil nessas áreas. A finalidade é entender de onde o país parte para construir a sua entrada nessas áreas. A seção seguinte discute o que seria o cenário para 2012. A seção final avalia o cenário para 2020, discutindo duas opções – a entrada “tímida” nessas áreas e a entrada “consistente”.

7.1. Características Gerais

7.1.1. Padrão de Investimentos nos Países Avançados

Dadas as características dos investimentos discutidas nas seções anteriores, é possível afirmar que nos países avançados a dinâmica dos investimentos pode ser caracterizada por cinco componentes:

- a) Forte atividade em disciplinas de ciência e engenharia para o desenvolvimento inicial dessas novas áreas, além de viabilizar tecnicamente a utilização desses conhecimentos em projetos tecnológicos acessíveis para áreas industriais emergentes.
- b) Programas públicos (Gastos públicos com defesa, *Human Genome Project*, *National Nanotechnology Initiative*, *Solar American Initiative* etc).
- c) Presença de grandes empresas envolvidas e/ou em processo de maior envolvimento – através dos clássicos movimentos de diversificação – com essas tecnologias (em especial para os casos de nanotecnologia e energia solar).
- d) Inúmeras pequenas empresas, muitas resultado de pesquisas universitárias (apoiadas por instituições do mercado de capitais, monitoradas por grandes empresas e candidatas a participarem de redes estáveis com o núcleo de grandes empresas ou a serem adquiridas para renovar base tecnológica de empresas estabelecidas).
- e) Multiplicidade de fontes de financiamento das atividades inovativas, envolvendo desde recursos públicos, recursos internos das grandes empresas (para investimentos em P&D, para montagem de *corporate VC* e para aquisições de pequenas empresas) e recursos dos mercados de capitais (dentre os quais encontra-se o *venture capital*). Essa multiplicidade de fontes de financiamento determina a existência de uma miríade de formas de interação entre universidades e empresas,

Esses cinco componentes parecem constituir um padrão geral de investimentos em indústrias baseadas na ciência. Esse resumo é necessário para definir um referencial básico para a elaboração de políticas públicas em países que pretendem entrar nessas novas indústrias baseadas na ciência. Uma abordagem sistêmica é um elemento constitutivo dessa elaboração de políticas. Essas características sugerem o forte peso das políticas públicas para a definição dos cenários futuros.

⁶⁶ Os Apêndices 1 (prospecção em biotecnologia), 2 (prospecção em nanotecnologia) e 3 (prospecção em energia solar) contribuem para este cenário.

7.1.2. A Economia Brasileira com Mecanismos de Atualização Tecnológica Limitada

O cenário de emergência de novas tecnologias, articulado com a identificação do "efeito rainha vermelha", sugere que a economia brasileira já possui mecanismos econômicos, científicos e tecnológicos que a capacitam a preservar um hiato tecnológico relativamente constante *vis-à-vis* os países mais avançados. Como discutido nas seções 1 e 2, isso não é uma pequena conquista, na medida em que outros países em estágios de desenvolvimento similares ao brasileiro não conseguiram sequer preservar essa distância constante – veem essa distância crescer.

Uma conclusão preliminar derivada das avaliações aqui apresentadas é a de que o Brasil possui um sistema de inovação incompleto, mas capaz de preservar a posição relativa do país no cenário tecnológico internacional. A avaliação apresentada sobre os quatro setores ilustra como mesmo em áreas de ponta esse processo de entrada limitada (com exceção da indústria aeronáutica) tem lugar. Esse sistema de inovação incompleto é um ponto de partida importante construído no país para um processo de atualização tecnológica mais consistente.

7.2. Elementos para um Cenário em 2012

Um sistema de inovação capaz de preservar o hiato tecnológico constante é o ponto de partida para a caracterização do cenário em 2012. ⁶⁶

7.2.1. A Infraestrutura Científica

A infraestrutura científica brasileira (disciplinas de ciência e engenharia) pode ser considerada como capaz de estabelecer vínculos entre aos centros de pesquisa e ensino mais avançados do mundo e a sociedade brasileira. Enfim, a infraestrutura científica brasileira (parque universitário e de instituições de pesquisa) tem sido capaz de cumprir o papel de "antena", que permite no mínimo monitorar e acompanhar os desenvolvimentos mais importantes no mundo (para uma discussão da função das universidades como antena, ver Suzigan et al, 2009).

Essa função de "antena" tem contribuído para a preservação do hiato tecnológico constante. Como caracterizar essa função de antena?

Em primeiro lugar, é necessário identificar o crescimento da produção científica do país (o deslocamento no eixo dos x, na Figura 1.6). Em segundo lugar, esse crescimento quantitativo pode ser avaliado qualitativamente. A Tabela 7.1, abaixo, identifica a distribuição da produção científica brasileira desde 1974, para anos selecionados.

Tabela 7.1 - As dez disciplinas de ciência e engenharia líderes na produção científica brasileira, número de artigos e participação percentual, anos selecionados (1974, 1990 e 2008)

Brazil 1974			Brazil 1990			Brazil 2008		
Area %	Nº	%	Area %	Nº	%	Area %	Nº	%
1. Medicine ,General & Internal	83	11.8	1. Agriculture, Multidisciplinary	210	7.5	1. Veterinary Sciences	985	4.0
2. Multidisciplinary Sciences	79	11.2	2. Biology	157	5.6	2. Biochemist & molecular Biology	982	4.0
3. Biochemistry & Molecular Biology	43	6.1	3. Biochemistry & Molecular Biology	146	5.2	3. Pharmacology & Pharmacy	923	3.8
4. Pharmacology & Pharmacy	38	5.4	4. Tropical Medicine	137	4.9	4. Agriculture, Multidisciplinary	916	3.8
5. Physics, Condensed Matter	35	5.0	5. Physics, Multidisciplinary	134	4.8	5. Dentistry, Oral Surgery & Medicine	825	3.4
6. Physics, Multidisciplinary	29	4.1	6. Genetics & Heredity	121	4.3	6. Zoology	768	3.2
7. Mathematics	25	3.5	7. Physics, Condensed Matter	114	4.1	7. Plant Sciences	751	3.1
8. Genetics e Heredity	20	2.8	8. Pharmacology & Pharmacy	98	3.5	8. Neurosciences	707	2.9
9. Public,Enviromental Et Occupation Health	19	2.7	9. Astronomy & Astrophysics	88	3.1	9. Chemistry, Multidisciplinary	653	2.7
10. Plant science	18	2.5	10. Medicine,General e Internal	81	2.9	10. Agronomy	616	2.5
Subtotal	389	55.1	Subtotal	1,286	45.9	Subtotal	8,126	33.4
Total	706	100.0	Total	2,804	100.0	Total	24,353	100.0

A Tabela 7.1 indica o peso das disciplinas relacionadas a áreas de biologia e saúde (seis em 1974 e nove em 2008). Como vimos na seção 1.4, o fortalecimento das disciplinas relacionadas à biologia e à saúde é uma trajetória identificada pelas matrizes de interação entre ciência e tecnologia. A importância dessas disciplinas tem impacto sobre possibilidades de aproveitamento de oportunidades abertas para a indústria do país.

Uma avaliação estatística de patentes de instituições de pesquisa no país entre 2000 e 2005 constatou que essas instituições responderam por aproximadamente 10% das patentes de pessoas jurídicas do país (Albuquerque et al, 2009). Além desse peso em termos quantitativos (expressivo se comparado com a participação relativa das patentes dessas instituições nos Estados Unidos), em termos qualitativos as estatísticas de patentes indicam um padrão de especialização tecnológica diferente em relação ao conjunto do país, sugerindo "o potencial que as instituições de ensino e pesquisa têm para renovar a base tecnológica do país". Seguindo a taxonomia do *Observatoire des Sciences et Techniques* (OST) foram destacados os seguintes pontos: a liderança do sub-domínio tecnológico "farmacêutico-cosméticos", o terceiro lugar para o subdomínio "engenharia médica" e o quarto lugar detido pela "biotecnologia" (Albuquerque et al, 2009).

Finalmente, uma avaliação das áreas dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia aprovados pelo CNPq mostra que dos 123 institutos aprovados, nove podem ser relacionados à nanotecnologia e 17 à biotecnologia.

Entretanto, para que um processo de redução do hiato tenha lugar, mudanças quantitativas e qualitativas na infraestrutura científica do país devem ter lugar (tema para as propostas da seção 8).

7.2.2. Sinais de Interação de Empresas com essa Infraestrutura Científica

Por que essa identificação do estágio da infraestrutura científica nacional é importante? Porque tratam-se de indústrias baseadas na ciência, portanto fortemente dependentes dessas instituições. Há evidências de que essa associação já esteja se estabelecendo no país, demonstrando algumas características dos setores discutidos neste NTS.

Um exemplo importante é apresentado pela biotecnologia. A Tabela 7.2 foi construída como tabulação especial preparada pela equipe da PINTEC-IBGE, a partir de uma pergunta pioneira introduzida na última PINTEC sobre o uso pela empresa de biotecnologia (a pergunta número 197).

Tabela 7.2 - Uso de biotecnologia por empresas industriais (2005)

	Biotecnologia				
	Universidade como fonte de informação				
	Total	Alta	Média	Baixa	Não Relevante
Total	532	138	91	38	266
Indústrias Extrativas	4	2	1	-	1
Indústrias de Transformação	528	136	90	38	264
Fabricação de Produtos alimentícios	189	19	48	12	110
Fabricação de bebidas	183	19	46	12	107
Fabricação de Produtos de Fumo	5	-	2	-	3
Fabricação de Produtos Têxteis	1	-	-	1	-
Confeção de artigos do vestuário e acessórios	15	6	2	-	7
Preparação de couro e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados	2	-	1	1	-
Fabricação de produtos de madeira	8	1	1	-	6
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	5	-	-	-	5
Fabricação de celulose e outras pastas	13	2	8	2	1
Fabricação de Papel, embalagens e artefatos de papel	2	-	2	-	-
Edição, impressão e reprodução de gravações	11	2	6	2	1
Fabricação de coque ,refino de petróleo, elaboração de combustíveis nucleares	1	-	-	-	1
Fabricação de coque, álcool e elaboração de combustíveis nucleares	14	3	3	-	9
Refino de Petróleo	6	-	1	-	5
Fabricação de produtos químicos	8	3	2	-	4
Fabricação de produtos químicos	99	34	16	15	35
Fabricação de produtos farmacêuticos	52	7	6	14	26
Fabricação de artigos de borracha e plástico	47	27	9	1	9
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	8	-	-	1	7
Metalurgia básica	38	33	3	2	-
Produtos Siderúrgicos	5	1	2	-	2
Metalurgia de metais não-ferrosos e fundição	4	1	1	-	2
Fabricação de produtos de metal	1	-	1	-	-
Fabricação de máquinas e equipamentos	30	-	-	-	30
Fabricação de máquinas para escritório e equipamentos de informática	91	36	3	3	49
Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	-	-	-	-	-
Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicação	-	-	1	-	-
Fabricação de material eletrônico básico	1	-	-	-	-
Fabricação e aparelhos e aparelhos de comunicação	-	-	1	-	-
Fabricação de equipamentos de instrumentação, médico-hospitalares, instrumento	1	-	1	-	-
Fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias	1	-	-	-	-
Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários, caminhões e ônibus	5	-	-	2	2
Fabricação de cabines, carrocerias e reboques e recondicionamento de motores	-	-	-	-	-
Fabricação de peças e acessórios para veículos	1	-	-	-	-
Fabricação de outros equipamentos de transporte	4	-	-	2	2
Fabricação de móveis e indústrias diversas	-	-	-	-	-
Fabricação de artigos do mobiliário	2	1	1	-	-
Fabricação de produtos diversos	-	-	-	-	-
Reciclagem	2	1	1	-	-

Fonte: IBGE, tabulação especial.

A Tabela 7.2 apresenta os dados, indicando como o uso da biotecnologia é razoavelmente difundido entre as mais diversas indústrias, de certa forma confirmando a sua caracterização como GPT discutida na seção 2.1, e indicando como essa característica estende-se a uma economia como a brasileira. Há uma concentração em duas indústrias, previsivelmente (“fabricação de produtos alimentícios e bebidas” e “fabricação de produtos químicos”), mas a sua distribuição afeta a quase todos os setores (apenas três setores não responderam positivamente essa questão). Dado o estágio ainda inicial da construção da biotecnologia no país, especialmente em relação à sua utilização industrial, a Tabela 7.2 pode ser uma importante indicação do impacto potencial de uma forte base biotecnológica no país sobre a estrutura industrial já instalada.

Para uma comparação com esses dados da PINTEC, uma outra ferramenta de pesquisa é utilizada: uma base de dados com 13.433 projetos apoiados pelos Fundos Setoriais (até 2008).⁶⁷ Essa base permite a obtenção de um conjunto de informações úteis para a identificação dos apoios públicos à pesquisa e à interação entre universidades e empresas. A partir de um processamento preliminar dessa base, foram preparadas as tabelas Tabelas 7.3, 7.4 (a e b), 7.5, que são apresentadas nesta subseção.

A Tabela 7.3 refere-se à biotecnologia, o que de certa forma estabelece um ponto de comparação com a tabela da PINTEC (Tabela 7.2). Como o CT-Biotecnologia não tem uma grande expressão, dadas as características institucionais dos Fundos Setoriais, a Tabela 7.2 não é uma boa *proxy* para o que é a relação entre empresas com interesse em biotecnologia e o sistema de C&T do país (para uma discussão abrangente dos programas de biotecnologia do governo, ver Fonseca, 2009, tópico 3.2). Certamente a Tabela 7.2 fornece um quadro mais abrangente.

Tabela 7.3 – Empresas Intervenientes e Empresas Executoras de Projetos de Subvenção com o Prefixo Biotecnologi nas Palavras-chaves ou Geneticamente Modificada ou Melhoramento Genético no Título ou nas Palavras-chaves

VOTORANTIM METAIS – COMPANHIA NIQUEL TOCANTINS / UF:
VOTORANTIM CELULOSE E PAPEL S.A VCP / UF:SP (*)
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO / UF: , AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL / UF: , PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO / UF:
SECRETARIA DE INDÚSTRIA, COMÉRCIO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE / UF:
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR / UF:
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO SUPERIOR / UF:
RECEPTA BIOPHARMA S.A. RECEPTA / UF:SP(*)
PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. / UF: , LUCAIA ENVIRONMENT TECHNOLOGIES / UF:
KARDOL INDÚSTRIA QUÍMICA LTDA / UF: , NANOCORE BIOTECNOLOGIA LTDA / UF:
GENEARCH AQUACULTURA LTDA. / UF:RN (*)
FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA / UF:
EUROFARMA LABORATÓRIOS LTDA EUROFARMA / UF:SP(*)
EMS S/A / UF:
COOPERATIVA CENTRAL DE PESQUISA AGRÍCOLA / UF:
CIA REFINADORA DA AMAZÔNIA / UF:
CANAVIALIS S.A CANVIALIS / UF:SP (*)
BIOLAB SANUS FARMACÊUTICA LTDA / UF:
ALELLYX S.A / UF:SP (*)
NOTA: (*) Empresas executoras de projetos de subvenção

Fonte: Elaboração própria, a partir de base de dados de projetos Fundos Setoriais (Cedeplar-UFGM/IPEA)

Nota: (*) Empresas executoras de projetos de subvenção

Fonte: Elaboração própria, a partir de base de dados de projetos Fundos Setoriais (Cedeplar-UFGM/IPEA)

⁶⁷ Para informações sobre essa base e sobre a pesquisa em torno dela, ver Lemos et al (2009).

Com essa importante ressalva, os dados apresentados para as empresas que se relacionam de forma direta com projetos de nanotecnologia (apresentados nas Tabelas 7.4.a e 7.4.b) também indicam uma razoável dispersão de setores industriais com interesses relacionados à nanotecnologia.

Tabela 7.4.a - Empresas Executoras de Projetos de Subvenção com o Prefixo Nano no Título

WSGB LABORATORIOS LTDA WSGB LAB / UF:SP
VIGODENT S/A INDÚSTRIA E COMÉRCIO VIGODENT / UF:RJ
SUZANO PETROQUÍMICA S/A SZPQ / UF:SP
SURTEC DO BRASIL LTDA. SURTEC / UF:SP
SCITECH PRODUTOS MÉDICOS LTDA. SCITECH / UF:GO
ORBYS DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA DE MATERIAIS LTDA ORBYS / UF:SP
NANOX TECNOLOGIA S/A NANOX / UF:SP
NANOCORE BIOTECNOLOGIA LTDA NANOCORE / UF:SP
MAGNESITA REFRAATÓRIOS S.A MAGNESITA / UF:MG
MAGMATEC TECNOLOGIA EM MATERIAIS MAGNETICOS LTDA MAGMATTEC / UF:RS
Leviale Indústria Cosmética LTDA (RS anterior: EXTRACAPS) LEVIALE / UF:GO
KOSMOSCIENCE CIENCIA E TECNOLOGICA COSMÉTICA LTDA KS / UF:SP
ITAJARA MINÉRIOS LTDA ITAJARA / UF:PR
IDEALFARMA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRDOUTOS FARMACÊUTICOS LTDA EPP IDEALFARMA / UF:GO
EMS S/A EMS / UF:SP
DUBLAUTO INDUSTRIA E COMERCIO LTDA DUBLAUTO / UF:SP
DENTSCARE LTDA ME DENTSCARE / UF:SC
CRISTÁLIA PRODUTOS QUÍMICOS FARMACÊUTICOS LTDA CRISTÁLIA / UF:SP
CONTECH PRODUTOS BIODEGRADÁVEIS LTDA CONTECH / UF:SP
CLOROVALE DIAMANTES INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA CLOROVALE / UF:SP
CHRON EPIGEN LTDA. (CO-FINANCIADORA) CHRONEPI / UF:RJ
CHEMYUNION QUIMICA LTDA CHEMY / UF:SP
BRASKEM S/A BRASKEM / UF:BA
ANGELUS INDÚSTRIA DE PRODUTOS ODONTOLÓGICOS LTDA ANGELUS / UF:PR

Fonte: Elaboração própria, a partir de base de dados de projetos Fundos Setoriais (Cedeplar-UFMG/IPEA)

Tabela 7.4.b - Empresas Interveniante de Projetos com o Prefixo Nano no Título

VALLÉE S.A. / UF:
TKS FARMACÊUTICA LTDA / UF:
PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. / UF: , COMPANHIA PARANAENSE DE GÁS / UF:
PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. / UF:
PETRÓLEO BRASILEIRO S.A - CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO / UF:
OXITENO S/A INDÚSTRIA E COMÉRCIO / UF:
ORBYS DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA DE MATERIAIS LTDA / UF:
NATURA INOVAÇÃO E TECNOLOGIA DE PRODUTOS LTDA / UF:
KARDOL INDÚSTRIA QUÍMICA LTDA / UF: , NANOCORE BIOTECNOLOGIA LTDA / UF:
IVISION SISTEMAS DE IMAGEM E VISÃO S.A / UF:
ISATEC - PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E ANÁLISES / UF:
FGM PRODUTOS ODONTOLÓGICOS LTDA / UF:
FACULDADES CATÓLICAS / UF:RJ, UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO / UF:RJ, UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE / UF: , INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA / UF: , INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO / UF:
EXCELLION SERVIÇOS BIOMÉDICOS SA / UF: , UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS / UF:
EMS S/A / UF:
EMBRARAD - EMPRESA BRASILEIRA DE RADIAÇÕES LTDA. / UF:
CERÂMICA SERGIPE S/A / UF:
BRASKEM S/A / UF:
BIOSINTÉTICA FARMACÊUTICA LTDA / UF:
BIOMETAL Comércio e Beneficiamento de Metais LTDA / UF:
BIOLAB SANUS FARMACÊUTICA LTDA / UF: , BIOSINTÉTICA FARMACÊUTICA LTDA / UF:
BIOLAB SANUS FARMACÊUTICA LTDA / UF:
BIOCANCER CENTRO DE PESQUISAS E TRATAMENTO DE CÂNCER SA / UF:
ARTECOLA INDÚSTRIAS QUÍMICAS LTDA / UF:

Fonte: Elaboração própria, a partir de base de dados de projetos Fundos Setoriais (Cedeplar)

As Tabelas 7.4.a e 7.4.b permitem a identificação de empresas de setores tão distintos como refino de petróleo (Petrobrás), química (Braskem, Suzano Petroquímica), farmacêutica e cosméticos (Biolab, Natura, Vallée, Cristália), equipamentos médico-odontológicos (Angellus), refratários (Magnesita), materiais (Nanox, Orbyx). Finalmente, a Tabela 7.5 apresenta os dados para as empresas apoiadas pelos Fundos Setoriais em projetos relacionados à energia solar fotovoltaica.

Tabela 7.5 - Empresas Interveniante de Projetos com o Prefixo Fotovoltaic nas Palavras-chaves

SOLARIS TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA IND. COM. E SERVIÇOS LTDA / UF: SP , WEG AUTOMAÇÃO S/A / UF:
SDS SOLUÇÕES EM DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS LTDA / UF:
RONDOPAR CHUMBO E DERIVADOS LTDA / UF:
PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. / UF: , ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S.A / UF: , COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA / UF:
NATUCEL ENERGIA SOLAR LTDA / UF: CE
MICROSOL TECNOLOGIA LTDA / UF: CE
IRMÃOS SANCHIS & CIA LTDA / UF:
CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS S.A. / UF: , TRANCIL TRANSFORMADORES COMÉRCIO INDÚSTRIA LTDA / UF:
CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS S.A. / UF: , INTERCÂMBIO ELETRO MECÂNICO INDÚSTRIA COMÉRCIO SERVIÇOS IMPORTAÇÃO EXPORTAÇÃO E REPRESENTAÇÕES LTDA / UF:
ACUMULADORES MOURA SA / UF:

Fonte: Elaboração própria, a partir de base de dados de projetos Fundos Setoriais (Cedeplar)

Embora bastante incipiente, em uma avaliação compatível com a apresentada no tópico 6 desta NTS, nota-se a presença de grandes empresas ligadas à energia (Petrobrás e Companhias Fornecedoras de eletricidade) ao lado de pequenas empresas.

7.2.3. O Modesto Movimento das Empresas Estabelecidas e a Existência de Pequenas Empresas

Os dados das Tabelas 7.3, 7.4 e 7.5, embora limitados e circunscritos aos Fundos Setoriais, permitem identificar um movimento inicial de grandes empresas em direção às três tecnologias emergentes. Empresas como a Petrobrás (nas três áreas), a Votorantin (em biotecnologia), empresas farmacêuticas como a Vallée, Biossintética (biotecnologia) e Biolab (essa presente em biotecnologia e nanotecnologia), a Braskem, Suzano e Magnesita (em nanotecnologia) e as empresas de eletricidade (em energia solar) já demonstram um interesse inicial. Se os Fundos Setoriais contribuem para o surgimento desse interesse, isso é um ponto positivo para essa iniciativa do MCT.

A discussão no tópico acima (7.2.3) sugere (e confirma) a capacidade (e o potencial) da nanotecnologia para perpassar um amplo conjunto de setores industriais, mesmo no estágios ainda incipientes que se encontram no país. Entretanto, os dados recolhidos nos tópicos 4, 5 e 6 indicam uma relativa timidez (até 2008) dos movimentos das empresas existentes. E, como toda a discussão relacionada à interação entre universidades e empresas demonstra, as demandas das empresas e do setor produtivo para a infraestrutura científica são importantes para a melhoria da produção científica.

Outro elemento presente nas Tabelas 7.3, 7.4 e 7.5 é a presença de novas empresas, de porte pequeno, por exemplo, Canaviallis e Allelix (em biotecnologia), Orbys e Nanox (em nanotecnologia), Solaris, Microsol e Natucel (em energia fotovoltaica). Indicação de potencial mas também de riscos relacionados à sobrevivência dessas empresas.

7.2.4. Balanço Geral desse Cenário

O cenário aqui discutido para 2012, parte da suposição da permanência das políticas atuais, sem grandes mudanças quantitativas e qualitativas.

De um ponto de vista geral, as instituições e os instrumentos existentes permitem um processo de atualização tecnológica limitado, suficiente para preservar a distância do país vis-à-vis o patamar tecnológico internacional. Nesse cenário, há a presença das tecnologias aqui discutidas, mas de forma incipiente e sem impactos mais gerais e sustentados sobre o conjunto da economia. Mesmo com essas limitações, esse cenário poderia ser considerado um cenário de continuidade de aprendizado.

Há entretanto dois riscos que merecem reflexão.

Em primeiro lugar, um avanço mais acelerado no ritmo de emergência dessas novas tecnologias pode trazer impactos negativos sobre o conjunto da economia brasileira, porque podem determinar um sucateamento precoce ou uma diminuição da importância de produtos importantes na produção industrial brasileira. A ênfase aqui estaria na produção de materiais tradicionais, que podem perder espaço de forma mais ou menos acelerada para os novos materiais que avanços na nanotecnologia (e suas interrelações com a química) podem gerar.

Em segundo lugar, há um risco relacionado ao destino dos casos de sucesso de investimentos públicos no setor científico que geraram empresas. Esse risco relaciona-se com a possibilidade de generalização do que já ocorreu no país, como as aquisições de empresas brasileiras como Akwan, Allelix, Canaviallis e Biobrás. Esse risco estimula a reflexão em torno do papel da articulação de um grupo de grandes empresas nacionais com essas novas empresas com condições de contribuir para a renovação da base tecnológica do país.

De positivo, por outro lado, é a existência de um ponto de partida razoável para um processo mais audaz de entrada nesses setores.

7.3. Elementos para um Cenário 2020

A persistência das políticas e arranjos institucionais atualmente em prática, conforme discutido no cenário 2012, será compatível com uma "entrada tímida" nessas novas áreas.

A discussão deste tópico relaciona-se a um quadro de "entrada consistente" nessas áreas. Para tanto, as políticas devem combinar três frentes de ação: 1) o fortalecimento da infraestrutura científica e a reorganização do ensino superior e de pós-graduação de forma a gerar conhecimentos e recursos humanos necessários para a atualização tecnológica; 2) políticas industriais ativas de estímulo a empresas existentes a subirem na "escada tecnológica", assumindo ações iniciais que articulem as suas áreas de atuação com oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias (no mínimo essas seriam políticas de cunho defensivo, evitando ativamente uma ampliação do hiato tecnológico para as empresas existentes); 3) políticas industriais de mais longo prazo, visando a atração de grandes empresas estabelecidas para áreas dessas novas tecnologias mais diretamente relacionadas com as suas áreas de atuação.

7.3.1. Flexibilidade e Fortalecimento da Infraestrutura Científica

O primeiro canal de vinculação entre a indústria do país e as revoluções tecnológicas emergentes é a infraestrutura científica. Há uma dinâmica de mudanças nas instituições necessárias para dar conta desse papel de vinculação entre conhecimentos relacionados a tecnologias emergentes e empresas do país.

O papel da flexibilidade institucional nesse processo talvez seja uma das lições mais importantes do caso da Coreia do Sul, na medida em que ela passou pelos três regimes desde 1974 (conforme a Figura 1.6). Há uma dinâmica que é essencial de ser captada, especialmente em relação a mudanças qualitativas e institucionais. Durante o processo de *catching up*, os papéis desempenhados por universidades, institutos de pesquisa e empresas foram mudando ao longo do tempo. O Prof. Keun Lee (*Seoul National University*) apresentou alguns fatos estilizados relativos ao que poderia ser rotulado como "flexibilidade institucional" ao longo do processo de *catching up*. O esquema é apresentado supondo a existência de três tipos de atores institucionais: universidades, institutos de pesquisa e empresas. Empresas desenvolveriam capacidade de absorção, a partir de suas atividades internas de P&D – donde a capacidade de absorção das empresas coreanas começou de um ponto muito baixo (inexistente) e foi evoluindo ao longo do tempo até alcançar o ponto atual, no qual as empresas assumem parte substancial dos investimentos em P&D do país. Universidades e institutos de pesquisa desenvolvem capacidade de pesquisa, capazes de alimentar empresas com informações técnico-científicas de forma variada, dependendo da fase de desenvolvimento de suas interações. Com esses atores, Eun, Lee & Wu (2006) apresentam um esquema geral, no qual uma tipologia de padrões de interação entre universidades e empresas é construída a partir das variáveis capacidade de pesquisa de universidades e institutos por um lado e capacidade de absorção de firmas por outro lado.

A aplicação desse esquema para o caso da Coreia do Sul sugere as seguintes mudanças. No início do processo de *catching up* (décadas de 1960 e 1970), dada a debilidade tanto da capacidade de pesquisa das universidades como da capacidade de absorção das empresas, institutos públicos de pesquisa foram criados e assumiram o papel de realizar pesquisas de amplo interesse público e transferir os resultados para as empresas, então com capacidade muito limitada de P&D. Em seguida, na década de 1980 as universidades já possuíam capacidade para realizar pesquisa e diversas empresas desenvolveram importante capacitação em P&D, o que levou os institutos de pesquisa a avançarem para atividades mais aplicadas e a estabelecerem relações de cooperação com empresas. Finalmente, durante a década de 1990, as universidades alcançaram capacidade de pesquisa que as habilitou a desempenharem papéis como fontes de informação para as atividades inovativas de firmas privadas, papéis bem mais próximos aos descritos na literatura sobre os países mais avançados, permitindo aos institutos públicos de pesquisa assumir novos focos, voltando-se para pesquisas mais básicas ao mesmo tempo em que reorientam-se para o apoio a atividades de pequenas empresas (Albuquerque, 2009, pp. 68-69).

Enfim, de acordo com Lee (2009), "*the dynamic evolution of university-industry relations underscores the need to see UIL in an evolving process depending on the stage of economic development of a country*" (Lee, 2009, p. 6). Essa interpretação informa uma leitura do trabalho de Kim (1997) que indica como o governo sul-coreano tomou a iniciativa de criar institutos públicos de pesquisa desde 1966, com o Instituto de Ciência e Tecnologia da Coreia (Kim, 19997, p. 84), e com o Instituto Avançado de Ciência da Coreia (Kim, p. 85). Esses institutos foram criados à frente de qualquer demanda proveniente de firmas existentes. Esse tipo de iniciativa foi repetido em outras indústrias como a eletrônica (p. 207), nesse caso usando o Instituto de Ciência e Tecnologia da Coreia, e computadores e semicondutores, com o Instituto de Tecnologia Eletrônica da Coreia (p. 214 e p. 228) e o Instituto de Pesquisa em Eletrônica e Telecomunicações (p. 244). A criação de institutos "à frente da demanda" foi um mecanismo importante para viabilizar a entrada de firmas coreanas em áreas tecnológicas então emergentes.

No caso de Taiwan, uma das inovações institucionais mais importantes para o sucesso do processo de *catching up* parece ter sido a criação de dois institutos de pesquisa públicos: o *Industrial Technological Research Institute* (criado em 1973) e o *Institute for the Information Industry* (criado em 1979) (Hou & Gu, 1993, p. 396). Esses institutos e suas divisões são origem de diversas empresas *spin-offs* e têm um papel estratégico pois as pequenas e médias empresas apoiam-se fortemente no governo para desenvolver tecnologia e/ou nos institutos públicos de pesquisa para transferir tecnologias para eles" (Hou & Gu, 1993, p. 396). Outra diferença em relação a Coreia é a manutenção de um papel de liderança após os anos 1980s e 1990s (Wade, p. 321).

⁶⁸ Uma sugestão para a coordenação da pesquisa é a realização de um Workshop articulando todos os setores passíveis de sofrer impactos das três tecnologias aqui discutidas para uma avaliação mais pormenorizada de outras trajetórias possíveis.

Conforme discutido na seção anterior, o estágio da construção da infraestrutura científica do país está relativamente mais avançado do que a construção existente na Coreia do Sul e em Taiwan no início dos respectivos processos de *catch up*.

Essas considerações sobre a criação de instituições na Coreia do Sul e em Taiwan podem ser úteis para uma melhor precisão na definição do papel de novas instituições no Brasil (e/ou a renovação e reforma das instituições existentes) para dar conta de uma entrada consistente nas novas tecnologias aqui discutidas.

7.3.2. Políticas para Impulsionar Empresas a Subir a "Escada Tecnológica"

Para uma entrada consistente nessas tecnologias, é necessário relacionar-se com o setor produtivo do país de forma ativa e propositiva, para estimular e favorecer a movimentação do parque industrial a subir na "escada tecnológica", instigando o setor produtivo a um esforço permanente de atualização tecnológica.

Essa postura parte da percepção de que as indústrias existentes já estão sendo e serão fortemente afetadas pelas tecnologias emergentes. Por isso não é possível que a entrada nessas tecnologias se atenha a propostas de criação de novas empresas. A renovação da base tecnológica implica a atualização tecnológica das empresas existentes.

Como um roteiro para a elaboração posterior, em particular para a articulação das políticas das indústrias baseadas na ciência com o restante do parque produtivo instalado no país, sugere-se a existência de algumas possíveis trajetórias de atualização tecnológica (essas trajetórias de atualização tecnológica da indústria estabelecida são apenas exemplos possíveis) ⁶⁸ :

- a) Trajetória dos materiais tradicionais para os novos materiais: envolve todas as indústrias tradicionais do país. Em primeiro lugar, há a capacitação de empresas produtoras de mineradoras para avaliar melhor a qualidade do que extraem (um exemplo é o caso da relação da Nacional Grafite com o grupo de nanociência da UFMG). Em segundo lugar, é necessário desenvolver a preocupação das indústrias tradicionais como as mineradoras e siderúrgicas sobre os riscos apresentados pelo desenvolvimento dos novos materiais para os seus produtos tradicionais (sobre a ameaça de substituição do aço por plásticos na indústria automobilística, ver Bernardes, 2009), como um estímulo para avanços no domínio de técnicas que possam ser utilizadas para produção de materiais mais sofisticados. Em terceiro lugar, há um estímulo à incorporação de técnicas modernas, especialmente nanotecnológicas, para o aprimoramento da produção em diversas indústrias (tintas, material de construção, têxtil, embalagens para as indústrias de alimentos);
- b) Especial atenção para a indústria química, na qual a incorporação de produtos nanotecnológicos, envolvendo nanocompósitos (nanotubos de carbono, nanopgrafite, nanopartículas);
- c) Atendimento a demandas mais sofisticadas da indústria instalada (materiais para aeronáutica, exploração em águas profundas);

- d) Introdução de processos biotecnológicos na recomposição de ambientes destruídos (mineração, siderurgia, poluição grandes centros urbanos);
 - e) A trajetória de avanço da biotecnologia na agropecuária (melhoramento genético do gado);
 - f) Incorporação da biotecnologia em atividades de indústrias que utilizam recursos agrícolas e florestais como insumo (açúcar e álcool, papel e celulose);
 - g) Articulação do desenvolvimento da biotecnologia com a ampliação e modernização da indústria farmacêutica do país (aqui pode haver uma experiência relacionada às clássicas "vantagens do atraso", na medida em que o atraso na constituição de um amplo parque industrial produtor de medicamentos pode estimular a que a entrada já se dê com forte conteúdo biotecnológico);
 - h) Energia solar para habitações (construção civil e produção de aquecedores solares);
 - i) Transição da capacitação existente na produção do silício metalúrgico para o silício solar (e talvez microeletrônico).
- Finalmente, para esses avanços na "escada tecnológica", há importantes raízes históricas que devem ser levadas em conta, em todas as quatro "indústrias baseadas na ciência":
- a) Aeroespacial: dimensão do país, sucesso da Embraer;
 - b) Biotecnologia: saúde e início da ciência no Brasil, vasta base industrial com potencial de utilização;
 - c) Nanotecnologia: presença em materiais "tradicionais" e força da física na especialização científica nacional, potencial já existente de criação de empresas relacionadas geograficamente às capacitações científicas já construídas;
 - d) Energia solar: posição geográfica, reservas de quartzo e tradição em energia

7.3.3. Diversificação de Grandes Empresas Nacionais em Direção a Tecnologias Emergentes

Para dar conta da entrada consistente nas novas tecnologias aqui discutidas, em função da discussão sobre o padrão de investimentos das indústrias baseadas na ciência (seção 7.1.1), especial atenção deve ser dada para políticas de diversificação de grandes empresas nacionais. Talvez esse seja um importante papel para o BNDES desempenhar. Como será exposto no tópico 8, é necessário estimular, talvez através de políticas bem sucedidas na Coreia do Sul (através dos mecanismos que Alice Amsden intitula de "reciprocidade"), passos de empresas estabelecidas em direção a essas novas tecnologias. De uma forma ainda limitada, talvez ainda pouco sistemática, esses movimentos podem ser identificados (Petrobrás, Votorantin, como identificadas nas Tabelas 7.3 a 7.5).

A necessidade e a possibilidade de processos de reforço mútuo (*feedbacks* positivos) entre um núcleo de grandes empresas e um conjunto de pequenas empresas que surgem no país e que deveriam ser incorporadas ao processo de *catch up* do país é justificativa mais importante dessa linha. Na verdade trata-se da criação e da preservação no interior do país desses processos de *feedbacks* positivos. A inexistência desse núcleo de grandes empresas capazes de determinar uma dinâmica interna de atualização tecnológica pode resultar numa permanente perda de iniciativas bem sucedidas, determinando uma espécie de "trabalho de Sísifo" tecnológico.

Outra contribuição importante do núcleo dinâmico de grandes empresas relaciona-se ao aproveitamento das oportunidades abertas pela internacionalização da produção, abrindo um novo canal para as empresas do país absorverem tecnologia no cenário internacional: multinacionais de origem brasileira podem multiplicar a capacidade de aprendizado do país.

7.3.4. Novas Empresas

Como avaliado na seção 7.1.1, a criação de novas empresas é um componente essencial para as indústrias baseadas na ciência, porque é um canal decisivo da tradução de novos conhecimentos gerados e/ou absorvidos pelas instituições de ensino e pesquisa (no caso do Brasil, esse papel das instituições de ensino e pesquisa é decisivo).

As políticas de apoio a pequenas empresas e a formação de novas empresas podem ser sistematizadas em termos de três tipos.

O primeiro envolve a criação de empresas para a renovação da base tecnológica, pois seriam empresas candidatas a um crescimento sustentado, e na sua conseqüente transformação em empresas de porte atuantes nas áreas aqui discutidas.

O segundo conjunto, envolve pequenas firmas que contribuiriam para a sofisticação da divisão de trabalho entre empresas no país, permitindo, por exemplo, a produção de componentes ou produtos de conteúdo tecnológico elevado para utilização em indústrias tradicionais (ume exemplo seria a produção de sensores de infravermelho para a detecção de vazamentos de gás). Essas pequenas empresas contribuiriam para a exploração de novas tecnologias para uma incorporação limitada (mas necessária) no parque industrial brasileiro, mas essas empresas poderiam posteriormente ter um desenvolvimento próprio ocupando espaços maiores do que os nichos que inicialmente ofereceram a oportunidade e a possibilidade da formação da empresa.

O terceiro conjunto de novas empresas seria composto por iniciativas articuladas com o movimento de diversificação das grandes empresas nacionais discutido no tópico anterior (7.3.3). Justifica-se esse conjunto a necessidade de apoio das grandes empresas para essa atualização que seja externo a sua organização, a partir da flexibilidade que pequenas empresas dinâmicas portam.

8. SÍNTESE PROPOSITIVA

8.1. Um Sumário do PDP para as Quatro Indústrias ⁶⁹

A partir de programas orientados para a competitividade da indústria e a elevação da capacidade de inovação, tais como o Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) e o Plano de Ação Ciência, Tecnologia e Inovação, o governo brasileiro vem aumentando seu investimento em políticas públicas destinadas ao desenvolvimento de algumas áreas estratégicas. Entre elas, estão a biotecnologia, a nanotecnologia e o complexo industrial de defesa e aeronáutico.

⁶⁹ Agradeço o apoio de Luíza Franco e de André Veloso, que organizaram essas notas sobre o PDP.

No que diz respeito à nanotecnologia, o principal objetivo dos programas mobilizadores é o desenvolvimento de nichos de mercado com potencial de competitividade em materiais, eletrônicos, médico e farmacêutico, equipamentos e ferramentas e tecidos nanoestruturados; além daquele de ampliar o acesso da indústria aos desenvolvimentos da nanotecnologia. As principais metas para o ano de 2010 consistem em investir R\$70 milhões em P,D&I e alcançar 100% dos investimentos privados previstos no Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação. Visa-se, por meio da gestão do MCT, incentivar empresas de base tecnológica, expandir a formação de RH especializado, atrair investimento em P&D e adequar o marco legal.

Para a identificação das oportunidades, será criado um grupo de trabalho, com especialistas e o setor privado, para a seleção de produto ou família de produtos finais passíveis de fabricação no Brasil, sob a responsabilidade do MDIC, MCT, ABDI, MS e MA. O apoio financeiro e a capitalização para formação, diversificação ou ampliação da capacidade instalada de empresas, SPEs, consórcios e/ou *joint-ventures*, com ênfase nos produtos selecionados no GT, ficará sob responsabilidade dos órgãos MDIC/MCT, MC/FINEP, BNDES/ABDI, enquanto a capitalização da rede de fornecedores de componentes e o favorecimento da articulação entre oferta e demanda de componentes, partes e peças estará sob a responsabilidade do BNDES e do mercado de capitais. Além disso, pretende-se não só desenvolver programas para a divulgação e sensibilização para o potencial em agregação de valor pela indústria e para técnicos e gestores públicos por meio da ABDI, do MDIC, do MCT e do INPI, como também divulgar produtos, patentes e soluções tecnológicas das ICTs e empresas brasileiras no exterior, sob responsabilidade da APEX, do MRE e do INPI, além de articular e promover as competências brasileiras, bem como apoiar a instalação de centros de P&D no Brasil (empresas nacionais e estrangeiras), sob a responsabilidade da ABDI e da Casa Civil. Para isto, será necessário criar Grupos de Trabalho para investigar questões de risco e impactos no trabalho e impactos ambientais para nanotecnologia e suas implicações legais, sob responsabilidade da ABDI e da CNI, e investigar as implicações da nanotecnologia sobre normas de propriedade intelectual, metrologia, normalização e certificação, sob responsabilidade do INMETRO, da ABNT/INPI e da ANVISA.

Quanto aos programas voltados à biotecnologia, os principais objetivos consistem na ampliação da produção industrial brasileira de produtos e processos por rota biotecnológica e na expansão e fortalecimento da base científica e tecnológica do país. As principais metas para 2010 visam desenvolver 20 produtos priorizados nas quatro áreas setoriais da Política de Desenvolvimento da Biotecnologia e induzir até 20 projetos cooperativos (ICTs – empresas); financiar cinco centros de desenvolvimento em biotecnologia avançada para incorporação da biotecnologia em processos industriais; e ampliar a produção nacional de biofármacos e imunobiológicos para 10% do valor das vendas da indústria farmacêutica nacional em dez anos. Os desafios que serão perseguidos sob a gestão do MDIC/ABDI consistem em aumentar os investimentos públicos e privados para a difusão da biotecnologia nas empresas nacionais; desenvolver nacionalmente produtos e processos nas áreas estratégicas indicadas na Política de Desenvolvimento da Biotecnologia; e estabelecer um ambiente regulatório que induza atividade inovadora em biotecnologia avançada e garanta a segurança dos biofármacos e imunobiológicos produzidos.

Para o desenvolvimento de produtos e processos biotecnológicos, serão tomadas algumas medidas, tais como o fomento à conservação e ao uso sustentável de recursos genéticos para a agricultura e a alimentação (insumos para a biotecnologia); a conclusão, instalação e definição do modelo de gestão e operacionalização do Centro de Biotecnologia da Amazônia; o desenvolvimento de produtos e processos no Centro de Biotecnologia da Amazônia, que contará com o investimento de R\$9 milhões entre 2008 e 2010; o Programa Ciência Tecnologia e Inovação no Complexo da Saúde; a inovação no agronegócio – biotecnologia agropecuária e o fomento à inovação no agronegócio; e a destinação de R\$3 bilhões entre 2008 e 2012 em recursos para o NOVO PROFARMA. Essas medidas estarão sob a responsabilidade de, respectivamente, MCT; MDIC; MCT; MS; MAPA/EMBRAPA e MCT/FNDCT; e BNDES. Para aumentar os investimentos públicos e privados para a difusão da biotecnologia nas empresas nacionais, pretende-se criar um Grupo de Trabalho para desenhar a SIBRATEC biotecnologia, com caráter setorial ou de base tecnológica específica, e um Fundo Setorial de Biotecnologia (CT-BIOTEC), sob a responsabilidade do MCT/FINEP, do MS, do MDIC/ABDI e do MAPA/EMBRAPA no primeiro caso, e do MCT/FINEP no segundo.

Para aperfeiçoar o marco regulatório, algumas diretrizes para a construção de medidas serão perseguidas, tais como reduzir incertezas jurídicas relativas à aplicabilidade dos incentivos à inovação tecnológica previstos nas Leis do Bem e Inovação; à propriedade intelectual, à legislação sanitária e à biossegurança. A responsabilidade dessas ações ficarão a cargo da Casa Civil, do INPI, da CTNBio, do MMA, da ANVISA, do MDIC, da ABDI e do MCT.

As áreas estratégicas para P,D&I, no que diz respeito à biotecnologia, são as áreas de fronteira (terapia gênica, neurociências, nanobiotecnologia, bioinformática, biocombustíveis, genômica; pós-genômica; os alvos estratégicos (proteínas recombinantes, biomoléculas, antibióticos, antifúngicos e antitumorais); o meio ambiente (processos biológicos para tratamento de efluentes, técnicas de reflorestamento e conservação das espécies), o industrial (novos materiais), biopolímeros e enzimas industriais; agronegócios (clonagem e expressão, heteróloga em animais, reprodução animal assistida, elementos regulatórios; e saúde humana (imunobiológicos, kits de diagnóstico, hemoderivados biofarmacos).

A ação governamental focada no complexo industrial de defesa nacional, por sua vez, tem como objetivo recuperar e incentivar o desenvolvimento da base industrial instalada, visando tanto a ampliação do desenvolvimento para as Forças Armadas como as exportações. Dessa forma, por meio da estratégia de especialização, o programa tem como metas o investimento de R\$1,4 bilhão de reais em modernização e P,D&I. Além disso, visa abranger 50% do fornecimento nacional até 2010 e 80% até 2020. O programa identifica como desafio o aumento e fortalecimento dos investimentos em P,D&I partindo de uma série de instrumentos já existentes, como leis de incentivo, linhas de financiamento, e programas de promoção do MD e do MCT, além da criação de novas políticas, tendo como agentes os dois ministérios já citados, além do MRE, a SLP e o MDIC. Essas novas políticas se baseariam na criação de um grupo de trabalho para estabelecer planos e diretrizes em áreas estratégicas de P,D&I, em um centro virtual de coordenação do desenvolvimento tecnológico, atuando em rede, e, por fim, na atração de programas de P&D de empresas transnacionais em cooperação com as nacionais.

Outras ações estabelecidas no programa de ação são, primeiramente, a ampliação e regulamentação das compras governamentais no que diz respeito à defesa, por meio do Ministério da Defesa e Ministério da Justiça. Em seguida, a expansão e adequação do financiamento à empresas brasileiras por meio da ampliação dos recursos para P&D e formação de RH, além de incentivar por meio de contrapartidas e garantias, algumas já garantidas em linhas de financiamento, as exportações. Os agentes responsáveis seriam o BNDES, o MCT, a FINEP e o MD. Por fim, a promoção das vendas e capacitação das empresas brasileiras passaria por ações de fortalecimento da participação brasileira em feiras e conferências internacionais, a promoção de marcas brasileiras no exterior, o financiamento de parcerias internacionais, o desenvolvimento de programas para capacitação tecnológica e gestão, além da obtenção de um padrão de qualidade por meio de homologações e certificações. Algumas dessas políticas já possuem instrumentos existentes e serão efetuadas por meio do MD, do MRE, do SEBRAE, da APEX, do INPI e do INMETRO.

A ação governamental focada no setor aeronáutico possui outra lógica, pois entende-se que esse setor já está consolidado e possui competitividade internacional. Dessa maneira, a estratégia é atingir uma situação de liderança mundial e a conquista de mercados por meio dos objetivos de ampliar a participação de aeronaves civis e de aeronaves no mercado interno e mundial, bem como de ampliar a participação no mercado sul-americano de helicópteros. A gestão desse programa está a cargo do MDIC.

Uma vez estabelecidas as metas de aumento de produtividade e de duplicação de participação no mercado mundial de aeronaves e de exportações de helicópteros, o programa visa aumentar e fortalecer os investimentos em P,D&I por meio da identificação dos desafios científicos-tecnológicos da área, e, tendo eles como base, priorizar áreas estratégicas em programas mobilizadores (compras públicas), criar programas para especialização e retenção de talentos e promover atração de atividades e centros de P&D de empresas transnacionais para o Brasil. Os instrumentos disponíveis para essa ação são as leis de financiamento e incentivo, a formação de recursos humanos no ITA e no SEBRAE, além da criação de Núcleos Tecnológicos Estratégicos, tudo isto incentivado pelo aparelhamento das forças armadas e pelo programa aeroespacial brasileiro. Outra ação seria a de capacitação tecnológica por meio do fundo setorial do setor Aeronáutico. Os agentes promotores dessa ação o MD, o MCT, o MCC, o MDIC, o INPI e a FINEP.

Outra ação importante para o alcance das metas seria o adensamento da cadeia produtiva por meio do Programa de Financiamento às Empresas da Cadeia Produtiva Aeronáutica Brasileira – o PROAERONAUTICA – orçado em R\$100 milhões, e do estabelecimento de um grupo de trabalho para buscar alternativas. Essa ação ficaria a cargo do BNDES, do MF e do MDIC.

A ação de expansão da participação no mercado interno e externo passaria pela expansão e adequação do apoio financeiro por meio do fomento a fundos de investimento públicos e privados, além da modernização dos procedimentos tributários (melhor eficiência na regulamentação). Como políticas específicas da expansão da participação brasileira figurariam o fortalecimento das marcas brasileiras no exterior, o desenvolvimento de programas de capacitação em projetos, além da inserção no *e-business global* e, por fim, a obtenção de um padrão de qualidade por meio de certificações e homologações. Além disso, a ampliação da participação passaria por um fortalecimento das compras nacionais. Os responsáveis por essas ações seriam o MD, o MRE, o MDIC, o SEBRAE, a APEX, o INPI e o INMETRO.

8.2. Um Balanço Preliminar do PDP em Relação às Quatro "Indústrias Baseadas na Ciência"

No conjunto das políticas industriais e de ciência e tecnologia atuais há um conjunto de pontos positivos.

Em primeiro lugar, o governo indica a importância que essas políticas possuem ao articulá-las e ao dar-lhes visibilidade. O conjunto dessas políticas já oferece algum nível de articulação entre diferentes ministérios e agências do governo e também sinaliza padrões de cooperação com governos estaduais. A proclamação dessas políticas também serve de sinalização para o setor privado, que pode ter orientações mais claras sobre posturas que receberiam apoio público.

Em segundo lugar, a importância atribuída a setores discutidos nesta NTS é digna de nota: biotecnologia, nanotecnologia e aeroespacial-defesa aparecem com destaque no conjunto dessas políticas. Talvez o mais importante aqui é a sinalização que o governo oferece sobre a existência de áreas estratégicas que merecem apoio.

Em terceiro lugar, essas políticas, em especial a articulação entre o PDP e o PAC Inovação, sugerem uma combinação entre políticas industriais e de ciência e tecnologia que é bastante promissora. É positivo no PDP a expressa divisão de trabalho institucional entre diversos níveis de governo.

Há, entretanto, uma lacuna importante na definição dessas áreas estratégicas: a ausência de destaque para a energia solar como uma fonte de energia alternativa. Como foi exposto ao longo da seção 6, há razões de sobra para que os investimentos nessa área sejam uma prioridade

A menção a esses importantes pontos positivos estimula a proposição de formas e caminhos para o aprimoramento dessas políticas. Para tanto, é necessário que esta NTS indique o que considera como as principais limitações das políticas desenhadas em especial pelo PDP.

O primeiro ponto que merece um comentário é a própria extensão dessas políticas, em especial do PDP. Na medida em que quase todos os setores estão incluídos e possuem políticas e instrumentos específicos propostos, o conjunto dos setores estratégicos fica de certa forma oculto e não se destaca. Embora haja a menção a "áreas mobilizadoras", elas não têm o destaque que esta NTS considera necessário.

O segundo ponto é a ausência de prioridades bem definidas. Na medida em que há uma extensa lista de políticas a serem apoiadas, pode-se afirmar que o resultado é uma certa ausência de foco. No caso das "indústrias baseadas na ciência", com a exceção da aeroespacial-defesa, essa debilidade tem uma consequência institucional importante: como tratam-se de indústrias ainda não instaladas no país, nas quais há uma ausência de empresas importantes atuantes, estabelece-se um descompasso vis-à-vis outros setores e indústrias que têm uma capacidade de pressão, reivindicação e mobilização em defesa de seus interesses específicos que não pode ter equivalente entre as "indústrias baseadas na ciência". Como as prioridades estão genericamente listadas, essa pressão dos setores já instalados e organizados pode terminar comprometendo investimentos necessários para a entrada nesses novos setores. Se adiciona-se a isso a existência da crise, que força todos os setores instalados a uma postura defensiva, amplia-se o risco de adiamento de investimentos necessários para esse novos setores.

Relacionado a esse ponto, poderia ser mencionada uma relativa timidez com relação aos investimentos públicos planejados nas "áreas mobilizadoras". Dado o peso dos investimentos públicos em nanotecnologia, biotecnologia e em energia solar, descritos ao longo das seções 4, 5 e 6 desta NTS, destaca-se a pequena dimensão dos investimentos planejados no Brasil.

O terceiro ponto é uma questão mais estrutural: será possível viabilizar a entrada em novos setores industriais apenas utilizando as instituições e políticas existentes? Essa pergunta tem como fundamento uma interpretação dos processos de desenvolvimento bem-sucedidos ao longo do século XX, nos quais parece sempre ter existido importantes inovações institucionais para sustentar a entrada em novos setores industriais e tecnológicos (Albuquerque, 2009).

Os dois pontos finais relacionam-se com questões tratadas na seção 2 desta NTS: o papel do *venture capital* e de um núcleo de grades empresas dinâmicas para viabilizar a entrada e a sobrevivência nos setores aqui discutidos.

Por um lado, em relação ao *venture capital* e instituições relacionadas, parece haver uma confiança exagerada na capacidade dessa instituição financeira, adaptada às condições específicas do Brasil, para impulsionar o desenvolvimento dos setores aqui discutidos. Instituições relacionadas ao *venture capital* estão citadas em praticamente todas as indústrias baseadas na ciência. De certa forma, falta uma avaliação crítica dessa instituição em geral e da sua realidade no Brasil. Por outro lado, inexistente uma discussão organizada de um tema sensível mas crucial: sem um núcleo de grandes empresas dinâmicas dificilmente as indústrias do país conseguem sobreviver nas áreas estratégicas aqui discutidas. De certa forma, a existência da Embraer é uma prova positiva dessa afirmação. O desafio para a biotecnologia e para a nanotecnologia (e para a energia solar, não presente nas políticas oficiais) não pode ser enfrentado de forma consequente sem lidar com esse ponto. Essa questão fica mais evidente a partir do contido das seções 4, 5 e 6, nas quais a presença de grandes empresas é evidenciada amplamente.

8.3. Propostas para as "Indústrias Baseadas na Ciência"

O objetivo desta seção é sistematizar os elementos mais importantes de uma política adequada para as indústrias aqui discutidas. As propostas mais específicas estão apresentadas nas seções 3, 4, 5 e 6 desta NTS e sistematizadas na seção 7.

A ênfase desta seção está na construção de condições de entrada em três das indústrias aqui discutidas: biotecnologia, nanotecnologia e energia solar (como a nova fonte de energia cuja condição do país mais favorece).

Em relação à indústria aeroespacial-defesa, uma indústria na qual a entrada já está consolidada (dada a presença da Embraer), trata-se de realizar dois movimentos básicos. O primeiro, relativo à indústria aeroespacial, aperfeiçoar a capacidade tecnológica interna, através de avanços na internalização de atividades tecnológicas mais sofisticadas, como a produção de turbinas. O segundo, em relação ao complexo da defesa, relaciona-se a uma definição mais clara em termos das tecnologias que seriam apoiadas, explicitando a natureza estritamente defensiva dos investimentos e necessariamente relacionados a usos civis imediatos.

8.3.1. Articulação entre Políticas Industriais e Científicas

O balanço das experiências internacionais indica que há pelo menos três atores decisivos em todas as novas tecnologias: a) estado (com investimentos públicos expressivos para fundar a base científica relativa à tecnologia em questão, o que seria uma espécie de contrapartida institucional do crescente peso da ciência para o desenvolvimento tecnológico tal como discutido na seção 1 desta NTS); b) grandes empresas com movimentos de diversificação ou renovação tecnológica; c) mercado financeiro e mecanismos privados e públicos de apoio a empresas nascentes.

Essas três dimensões qualificariam um estilo de intervenção necessário para as indústrias aqui discutidas (com exceção da aeroespacial-defesa). Dessas três dimensões, as políticas atuais têm se concentrado no terceiro tópico. Por isso, essa subseção discute os dois primeiros tópicos.

Planos nacionais efetivos para o estabelecimento desses setores seriam o correspondente nacional de iniciativas como a NNI e a SAI, implementadas nos Estados Unidos. Em termos do Brasil, essas iniciativas são importantes também para expandir e consolidar capacitações científicas do país nos setores em questão. Apesar da presença importante do país nessas áreas, como indicado nas seções 3 a 6, há ainda uma necessidade de crescimento quantitativo e qualitativo da participação internacional do país. É uma decisão estratégica, que deve ser capaz de romper com a timidez das iniciativas (importantes) até aqui tomadas.

Com relação a um necessário núcleo dinâmico de empresas, talvez o caminho mais razoável seja o da diversificação de grandes empresas estabelecidas no país. O exemplo coreano de políticas de "reciprocidade" (nos termos de Alice Amsdem, 1989) talvez seja o mais adequado para essa construção institucional.

A seleção das empresas que assumiriam esses movimentos de diversificação não é simples, caracterizando um primeiro passo de uma nova construção institucional da política industrial no Brasil, mas é possível sugerir alguns elementos básicos. O primeiro é a dimensão e a capacidade de investimento da empresa. O segundo é a existência de pontos de contato entre a linha de atuação atual da empresa e potenciais oferecidos pelas tecnologias emergentes aqui discutidas. Por exemplo: a Petrobrás, por lidar com energia, poderia assumir um forte movimento de diversificação em direção a energia solar (aliás, movimento que a BP e a Shell estão realizando). Não é um passo inteiramente despropositado, até porque a Petrobrás tem financiado grupos de pesquisa especializados em nanotecnologia em universidades brasileiras. Outro exemplo seria a relação entre empresas que lidam com materiais tradicionais (mineradoras, produtoras de aço) e a nanotecnologia, como uma tecnologia responsável por mudanças significativas na produção de materiais, o que sugere que empresas como a Vale, a Usiminas podem ser estimuladas a assumir papéis ativos na emergente nanotecnologia. Biotecnologia no caso brasileiro tem uma lacuna muito importante que é a debilidade da indústria farmacêutica nacional e de seu núcleo de empresas "chandlerianas". Trata-se de questão que deve ser discutida em conjunto com as propostas para a indústria farmacêutica nacional (ver a NTS da saúde). Mas, a natureza razoavelmente abrangente das aplicações de biotecnologia na indústria do país, oferece uma grande oportunidade: grandes empresas de papel e papelão (que já estão envolvidas em projetos como o genoma do eucalipto), produtoras de álcool a partir da cana de açúcar, de saúde animal e da agroindústria, além da saúde humana, podem ser mobilizadas para um salto de qualidade da biotecnologia brasileira.

Com um investimento estatal significativo (repita-se, algo comparável ao NNI e ao SAI, em termos de montante e articulação institucional) e com a definição da forma de estruturação do núcleo dinâmico de grandes empresas, o terceiro componente (mecanismos de apoio a empresas emergentes, através de apoios financeiros públicos e privados – é verdade que os apoios privados em geral têm um forte componente público em sua origem) deve ser reavaliado (ver tópico 8.3.4, abaixo).

8.3.2. Investimentos Combinados na Dimensão Científica e Industrial

A partir da discussão do tópico 7, esta seção busca sistematizar as linhas principais de intervenção para a construção de uma "entrada consistente" nas indústrias baseadas na ciência.

Para uma visão mais sistematizada desse conjunto de propostas, destaca-se abaixo as principais linhas. Em primeiro lugar, há uma importante diferença entre a indústria aeroespacial e as três indústrias emergentes: a) ao contrário das outras "indústrias", a base de ciência e engenharia está razoavelmente construída: é necessário atenção para algumas áreas tecnológicas estratégicas; b) a fabricação de turbinas no país talvez seja o passo mais importante

(a partir do ITA, nova empresa foi capaz de produzir protótipo); políticas de apoio e de compras podem estimular esse passo chave para a ampliação do conteúdo tecnológico da indústria; c) um exemplo importante: já existe uma pequena empresa que fornece peças para a produção de turbinas no Canadá (de acordo com informação de Marcos Barbieri); d) além disso, a capacitação para produção de turbinas não se restringe a essa indústria (origem da turbina é demanda da Petrobrás – energia a partir de gás). Possibilidade de outras aplicações, p. ex, em energia eólica; e) necessidades de capacitação em novos materiais (papel estratégico de nanotecnologias) e finalmente, f) há relações importantes com uma política de defesa, articuladas com uma visão das Forças Armadas como centradas na defesa e equipadas com alta tecnologia (radares, sistemas de monitoramento etc)

Em segundo lugar, em função da discussão realizada na seção 1, por que pensar em três dimensões (científica, industrial e apoio a empresas emergentes)? Essa visão sistêmica deriva-se da própria natureza da “indústrias baseadas na ciência” (sua forte dependência institucional) e do padrão geral de investimentos discutidos nos tópicos 3, 4, 5 e 6 e sistematizado na seção 7.1.1.

8.3.2.1. A Dimensão Científica

BIOTECNOLOGIA

- Plano Nacional de Biotecnologia (capaz de gerar massa crítica)
- Criação de novas instituições especializadas
- Reorganização para incorporar maior capacitação na área
- Articulação entre sistema de inovação e sistema de bem-estar social
- vacinas em doenças negligenciadas como exemplo de alta tecnologia para resolver problemas legados pelo atraso social

NANOTECNOLOGIA

- Aperfeiçoamento do Plano Nacional de Nanotecnologia (prioridade: alcançar massa crítica de pesquisadores e profissionais para responder a desafios, o que envolve articulação com Plano para Pós-Graduação)
- Criação de novas instituições especializadas (a partir dos INCTs?)
- Reorganizar instituições existentes, para incorporar capacitação na área

NOVAS FONTES DE ENERGIA (ENERGIA SOLAR)

- Plano Nacional em Energia Solar
- Criação de centro nacional de referência em energia solar
- Investimentos em redes de instituições para preparar pessoal necessário para gerar massa crítica no setor
- Reorganizar instituições existentes

8.3.2.2. A Dimensão Industrial

BIOTECNOLOGIA:

- Atenção para a grande chance para o Brasil dada a diversidade de usos potenciais (várias entradas possíveis: saúde humana e animal, produção de celulose, aplicações em cana e biomassa, alimentos, meio-ambiente, etc)
- Avaliar grandes empresas existentes nos setores acima e definir políticas para que assumam investimentos estratégicos para capacitação na área (dada a base científico-tecnológica comum, muitas iniciativas poderiam ser compartilhadas)

NANOTECNOLOGIA

- Avaliar empresas existentes que poderiam assumir investimentos significativos nessa área, ganhando capacitação na tecnologia (empresas de materiais tradicionais – Vale, Usiminas –, empresas químicas e relacionadas– Petrobrás e outras)

NOVAS FONTES DE ENERGIA (ENERGIA SOLAR)

- Envolver grandes empresas produtoras de eletricidade, Petrobrás (ver diversificação da BP) e estimular subida na escada tecnológica das empresas produtoras de silício grau metalúrgico
- Avaliar empresas existentes que poderiam assumir investimentos significativos nessa área, ganhando capacitação na tecnologia nas várias fases do processo (preparação do silício grau solar, célula fotovoltaica, sistemas)

RELACIONAMENTO ENTRE AS TECNOLOGIAS EMERGENTES E PARADIGMAS TECNOLÓGICOS MAIS MADUROS

- Fortalecimento em TICs é um pré-condição para entrada nas IBCs
- Definição de quais são os setores importantes

QUESTÕES DE COORDENAÇÃO INTER-INDUSTRIAL

- como GPTs, interação com outros setores industriais

8.3.2.3. Apoio a Empresas Emergentes

- Repensar mecanismos de financiamento, articulá-las com núcleo de grandes empresas;
- Associar apoios governamentais e de grandes empresas que se movimentem em direção a essas áreas tecnológicas à localização que tenha em conta as competências científicas já construídas.

8.3.3. Mecanismos para uma Melhor Focalização das Prioridades Setoriais

A definição da prioridade nas áreas estratégicas discutidas nesta NTS exige um detalhamento de políticas e objetivos que certamente envolve uma explicitação de sub-áreas nas quais o país deve focalizar (exemplo: em nanotecnologia, há grupos de pesquisa que defendem o foco em nanocompósitos). Essas definições cruciais, entretanto, devem ser tomadas em um ambiente que envolve atores bastante definidos e capacitados para decidir.

Esse ponto deriva-se do anterior, na medida em que os atores para a definição dessas prioridades devem vir de três diferentes origens: 1) estado (ministérios e organismos de planejamento); 2) comunidade científica (para definir áreas de competência estabelecida e áreas que precisam de fortalecimento interno) e 3) núcleo de grandes empresas (para definir estratégias de diversificação).

Em relação à comunidade científica, políticas implementadas recentemente oferecem um canal para a construção desse diálogo: tanto os Institutos do Milênio e os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia relacionados a cada área (nanotecnologia e biotecnologia, em estágio mais avançado) podem ser canais de organização da participação da comunidade científica nacional nessas definições estratégicas.

Em relação às grandes empresas, aquelas definidas de acordo com o tópico anterior devem participar dessas definições estratégicas.

Finalmente, o estado (entenda-se aqui o governo federal e governos estaduais, com suas instâncias e agências mais importantes) deve estar presente tanto para definir os investimentos públicos necessários, como para organizar a participação relativa aos apoios financeiros públicos e privados.

8.3.4. Reforma dos Mecanismos de Financiamento

A questão do financiamento é decisiva para a entrada em novos setores. Na subseção 8.3.1 foi desenhado um arranjo institucional envolvendo três tipos de atores: estado, grandes empresas e instituições financeiras públicas e privadas. O papel das instituições financeiras privadas precisa ser reavaliado.

A debilidade estrutural do setor financeiro privado nos investimentos de longo prazo no país é bem estudada. Em relação aos investimentos em inovação (desde P&D até a criação de novas empresas) essa debilidade é ainda maior. Como se sabe, mesmo o *venture capital* no país é fortemente dependente de iniciativas e de recursos públicos.

Por isso, é necessário colocar na agenda uma reforma do sistema financeiro que possibilite um maior envolvimento do setor privado nos investimentos relacionados à renovação da base tecnológica do país. Entre as diversas propostas de reforma, podem ser citadas as apresentadas por Lemos (2006), Carvalho (2005) e Sicsú *et al* (1998).

8.3.5. Rearticulação Institucional: Novo Papel para o BNDES e a FINEP

Conforme discutido na seção 8.2, há um importante "descompasso institucional" entre as indústrias já estabelecidas e as indústrias emergentes, como as discutidas nesta NTS. Esse descompasso cobra um rearranjo institucional que seja capaz de evitar um possível *lock-in* derivado da prioridade de investimentos em áreas com forte capacidade de vocalização de interesses *vis-à-vis* áreas sem tais capacidades.

Teoricamente, esse ponto está relacionado à necessidade de novos arranjos institucionais para dar conta da entrada em novas áreas. As instituições que foram capazes de políticas industriais em paradigmas tecnológicos anteriores não necessariamente dão conta de uma nova fase.

Como ponto de partida, poderia ser pensado um rearranjo envolvendo uma melhor articulação entre o BNDES e a FINEP. Se a articulação com grandes empresas é crucial, como defendido nesta NTS, políticas públicas viabilizadas pelo BNDES são canais para estimular e orientar movimentos de diversificação de grandes empresas. Por isso, o BNDES deve assumir um papel mais amplo em relação à renovação da base tecnológica do país. Com o banco se envolvendo mais com o financiamento de atividades inovativas e de novas empresas, a FINEP poderia reorganizar as suas atividades de forma a concentrar as atividades de financiamento de empresas para o BNDES, o que permitiria à FINEP concentrar-se nas atividades de financiamento e apoio ao fortalecimento da capacidade científica do país.

Nessa reorganização, o BNDES seria também um ator central na reforma do sistema financeiro privado, dessa forma possibilitando um novo enquadramento do *venture capital*, de forma a ter mais articulação com as políticas mais gerais de renovação da base tecnológica e de efetiva entrada nas indústrias baseadas na ciência.

Outra rearticulação institucional importante, relativa a direitos de propriedade intelectual, é sugerida na próxima subseção.

8.3.6. Questões de Regulação

8.3.6.1. Articulação entre o INPI, CADE e MRE

Trata-se de um mínimo de articulação entre o processo de construção do sistema nacional de inovação no Brasil e um nível adequado de proteção aos DPIs. Esta NTS trata de setores particularmente sensíveis a questões de propriedade intelectual, como discutido nas seções 4, 5 e 6 (Albuquerque, 2007).

Basicamente, trata-se de requalificar os diversos dos *trade-offs* existentes na questão da propriedade intelectual, invertendo a ênfase em relação aos interesses dos países avançados, determinando que os incentivos à difusão predominem. Essa inversão de ênfase é adequada para países que têm pela frente a tarefa de realizar um processo de *catching up*. Essa tarefa exige a luta permanente por espaço para a difusão internacional de tecnologias, o que significa enfatizar uma postura primordialmente anti-monopólica. Ao mesmo tempo, essa postura no cenário internacional deve combinar-se com a criação de incentivos de proteção às adaptações ou inovações incrementais (de segunda e terceira geração), necessárias a sua difusão. Para a implementação de inovações de segunda e terceira gerações, é necessário que a proteção patentária dos países líderes não seja tão forte a ponto de inviabilizar o desenvolvimento de inovações incrementais e de adaptações nos países menos desenvolvidos.

Alguns princípios gerais que norteariam essa elaboração.

Quatro princípios se destacam:

- 1) Considerar que o processo de *catching up* exige amplo desenvolvimento de inovações incrementais e adaptativas. Isso pressupõe retirar obstáculos quanto ao contato com a tecnologia dos países mais avançados, viabilizando múltiplas fontes de transferência de tecnologia. Isso talvez se relacione com posições por DPI fracos na arena internacional e uma forte capacidade de barganha e negociação nos fóruns internacionais.
- 2) Estimular a difusão interna de tecnologia. A difusão tecnológica não é um processo sem custo ou esforço.

3) Onde o país tem uma capacitação mais desenvolvida, as inovações devem ser incentivadas. Esse terceiro princípio está incentivando o inverso do segundo (cada um enfatiza lados opostos do trade-off clássico entre inovação e difusão). Isso coloca um problema importante de harmonização interna que deve ser discutido.

4) Desenvolver uma forte contraposição institucional ao poder monopolizador, criado pelo instituto das patentes, como reconhecido pela teoria econômica e pela economia industrial. A legislação de patentes não pode ser discutida a sério sem um desenvolvimento simultâneo de uma legislação antitruste, na esfera internacional e nacional.

A combinação desses "princípios" não pode ser realizada sem o reconhecimento de que eles dependem de arranjos político-institucionais, nos quais a negociação internacional tem um papel decisivo. Talvez esses princípios não sejam mais do que um roteiro para negociações internacionais. De qualquer forma, a associação da construção da legislação de patentes (assim como seus ajustes e mudanças internas), estruturas administrativas e instituições de enforcement com duros processos de barganha e negociação internacionais é importante. Aliás, boa parte das discussões dos termos do comércio internacional depende de uma importante capacitação para atuação nessas esferas.

Em sintonia com as especificidades dos trade-offs nos países periféricos, pode ser sugerida uma construção institucional *sui generis*: uma articulação entre o Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, os organismos estatais de regulação da atividade econômica e de políticas antitruste; e os negociadores brasileiros nos fóruns internacionais.

8.3.6.2. Questões Relacionadas ao Meio-ambiente e Monitoramento de Novas Tecnologias

Tratam-se de questões importantes, na medida em que o país deve desenvolver capacidade para monitorar os impactos de novas tecnologias, entre as quais as nanotecnologias têm uma grande importância, de forma a inclusive utilizar esse monitoramento de eventuais problemas de saúde, no ambiente de trabalho e no meio ambiente em geral como estímulo a busca de soluções que possam inclusive impulsionar o progresso tecnológico.

8.3.7. A Construção Combinada dos Sistemas de Inovação e de Bem Estar Social

Toda a discussão realizada nesta NTS tem como pressuposto a busca de um padrão de desenvolvimento tecnológico para escapar da polaridade modernização-marginalização, um novo padrão alimentado pela interação multifacetada entre o sistema de inovação e o sistema de bem estar social. Para essa construção combinada, as instituições democráticas devem ser capazes de colocar esse tema na agenda do país. Além disso, prioridades nacionais e alocação de recursos são temas que podem e devem ser submetidos à discussão democrática. Certamente, mecanismos apropriados para essas discussões precisam ser pensados.

Dessa forma, a inovação institucional que pode vir a caracterizar um processo de *catching up* bem-sucedido no Brasil é uma estratégia de desenvolvimento que democraticamente combine a construção do sistema de inovação e a do sistema de bem estar social. A estratégia de construção combinada de um sistema de inovação e de um sistema de bem-estar social no Brasil orienta um conjunto de mudanças quantitativas e qualitativas. A construção das indústrias baseadas na ciência, desse ponto de vista, é uma necessidade e uma consequência dessa busca.

APÊNDICE 1: Um sumário do Workshop de Prospecção em Biotecnologia (CEDEPLAR-UFMG/SECTES/FAPEMIG, 10 e 11 de dezembro de 2008)

O *workshop* de prospecção tecnológica em biotecnologia reuniu economistas, sociólogos, pesquisadores, empresas e órgãos de financiamento que discutiram o cenário atual, as tendências, barreiras e oportunidades para o setor.

De acordo com Belizário (2008)⁷⁰, gerente de operações da Cenatte Embriões, sua empresa possui o domínio das técnicas de coleta, transferência de embriões, congelamento e fertilização *in vitro* (técnica FIV). Os produtos gerados por meio da técnica FIV apresentam vantagens associadas ao incremento da oferta de material genético melhorado, colaborando para a multiplicação de rebanho geneticamente superior e apresentando evidentes retornos de produtividade.

O palestrante observou ainda que o domínio da tecnologia de clonagem é apreendido pela Cenatte como uma "porta de acesso" a tecnologias e processos mais complexos e sofisticados no futuro.

Abrantes (2008)⁷¹, gerente de biotecnologia da empresa Hertape Calier, ressalta que biotecnologia foi introduzida na firma por meio da construção de uma fábrica, dentro de seu complexo, focada unicamente em produtos resultantes de processos biotecnológicos. As vacinas desenvolvidas há 30/40 anos vinham acompanhadas de vários efeitos colaterais. Visando a diminuição de tais efeitos nos rebanhos, a empresa começou a desenvolver vacinas com a utilização da biotecnologia. Estas vacinas são recombinantes e utilizam, por exemplo, vírus que não se multiplicam em mamíferos e que não geram novos vírus ou infecções.

Segundo Abrantes (2008), a empresa tem lançado e desenvolvido produtos na linha *pet*, como antibióticos, com o uso da biotecnologia. Como resultado de uma parceria entre a Hertape Calier e o Laboratório de Imunoparasitologia (ICB/UFMG), deu-se o desenvolvimento da Leish-Tec, vacina contra a leishmaniose visceral canina, a partir da tecnologia recombinante. Coube à empresa todo o desenvolvimento do produto. O lançamento do produto pela Hertape Calier ocorreu em outubro de 2008.

A empresa está na fase inicial do desenvolvimento da vacina recombinante contra a febre aftosa. A situação atual é que, apesar de saberem que a proteína é imunogênica, ela sozinha ainda não gera imunidade protetora.

De acordo com Penchel (2008)⁷², representante da empresa Aracruz Celulose no *workshop*, são investidos pela firma R\$8 milhões em pesquisa por ano, principalmente em biotecnologia, utilizando transgênicos e biopropagação. A empresa utiliza a biotecnologia através das técnicas de micropropagação que possibilitam um ganho de produtividade de celulose por hectare/ano. Isto tem um impacto positivo na redução dos custos de produção. Além disso, grande parte dos resíduos da colheita do eucalipto é deixada ao sol para produzir matéria orgânica, mas uma parte desses resíduos está sendo investigada para o uso de bioetanol.

A empresa tem investido muito em pesquisa e desenvolvimento do eucalipto transgênico e já tem aproximadamente 50% desta tecnologia. Há uma projeção, para 2012, em que o Brasil já estaria liberado para a plantação deste eucalipto.

Um outro ponto destacado por Penchel (2008), diz respeito à utilização de biorreatores que impacta na redução de mão-de-obra (por meio da automação do processo produtivo) e de energia, possibilitando uma maior segurança quanto à pureza e limpeza, menor custo de produção e maior flexibilidade de produção.

⁷⁰ BELIZÁRIO, Heraldo. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 11 dez. 2008. Não publicado.

⁷¹ ABRANTES, Christiane de Freitas. Industry: strategies of innovation and discoveries marketable products. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 11 dez. 2008. Não publicado.

⁷² PENCHEL, Ricardo. Aplicações Industriais da Biotecnologia do Eucalipto na Aracruz Celulose. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 11 dez. 2008. Não publicado.

O Brasil, a África do Sul e os Estados Unidos lideram a rede internacional EUCAGEN (*Eucalyptus Genome Network*), cujo objetivo é a colaboração internacional para a pesquisa genômica do eucalipto. Além destes países, outros 15 formam a rede que conta com a participação de 82 organizações públicas e privadas.

Dayrell (2008)⁷³, representante da Votorantim Metais e Zinco, apresentou as aplicações da biotecnologia em novos metais, no interior da Votorantim Metais e Zinco (divisão do Grupo Votorantim responsável pelas áreas de níquel, zinco e alumínio), e as empresas de biotecnologia propriamente ditas do grupo, quais sejam, Alellyx Applied Genomics e CanaVialis, no âmbito da Votorantim Novos Negócios, fundo de capital de risco do Grupo Votorantim.

Salientando a intensidade em conhecimento característica das empresas de biotecnologia, o pesquisador caracterizou a Alellyx como uma empresa de genômica aplicada que se dedica ao desenvolvimento de pesquisas em biotecnologia, principalmente para a cana-de-açúcar, desde 2002, e que possui 140 colaboradores, sendo 22 doutores e 17 mestres. Já a CanaVialis foi apontada como uma empresa que atua com melhorias de variedades de cana-de-açúcar, desde 2003, e que possui 63 colaboradores, sendo 4 doutores e 2 mestres. Estas empresas foram criadas por pesquisadores acadêmicos que participaram dos primeiros grandes projetos de genômica do país, em especial, o sequenciamento da bactéria *Xylella fastidiosa*. Elas trabalham com melhoramento genético de cana-de-açúcar e laranja, incluindo plantas transgênicas.

Em novembro de 2008, a Alellyx e a Canavialis foram adquiridas pela multinacional Monsanto. Essa aquisição, segundo o palestrante, foi originada na parceria tecnológica estabelecida pelo Grupo Votorantim e pela Monsanto para o desenvolvimento e a comercialização das tecnologias de tolerância a herbicidas e de resistência a insetos-praga.

Na indústria de zinco, a utilização da biotecnologia é, segundo Dayrell (2008), motivada pela redução de custos na área de mineração e de investigação para a produção desses metais e pela eliminação de problemas crônicos (ambientais).

Nessa perspectiva, a Votorantim conduz atualmente estudos de bio-lixiviação de minérios sulfetados (pela introdução de micro-organismos que realizarão o processo), possuindo uma planta piloto em funcionamento em Três Marias. No âmbito destas atividades em biotecnologia, a empresa possui parcerias com o grupo de pesquisa Biotecnologia e Ciência dos Materiais Aplicadas à Tecnologia Mineral e ao Meio Ambiente (DEMET/UFOP) e com a empresa holandesa PAQUES que atua com biotecnologia em efluentes. Dayrell (2008) também ressaltou que existem várias pesquisas e várias indústrias aplicando o tratamento de lixiviação como, por exemplo, a indústria tratamento de esgoto das grandes cidades que usam bactérias para remoção dos dejetos.

Embora a tecnologia da biotecnologia aplicada à metalurgia extrativa do zinco (biolixiviação) já seja dominada mundialmente e reconhecidamente promissora, a Votorantim Metais e Zinco encontra-se em estágio inicial da sua adoção em processos industriais. As principais dificuldades apontadas para a sua ampla adoção foram a necessidade de um investimento elevado (R\$500 milhões) para a viabilização de uma nova planta industrial, que já incorporasse esta tecnologia, e os elevados sunk costs da indústria em questão.

Leão (2008)⁷⁴, professor e pesquisador da UFOP, observou que a bio-hidrometalurgia envolve os campos da metalurgia dos não-ferrosos (alumínio, zinco, ouro e níquel), a microbiologia (microrganismos) e a química da água. Trata-se de processo biotecnológico para a produção de minerais, a partir de seus sulfetos, através da adoção de microrganismos em processos de biolixiviação (dissolução do metal com ajuda de microrganismos). Segundo ele, a biolixiviação em pilhas, a partir da adoção de solução com microrganismos, vem sendo amplamente utilizada no empilhamento de minério.

⁷³ DAYRELL, Daniel. Aplicações Industriais da Biotecnologia. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 11 dez. 2008. Não publicado

⁷⁴ LEÃO, Versiane Albis. Bio-Hidrometalurgia. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 11 dez. 2008. Não publicado.

O pesquisador salientou que não existe um produto específico que possa ser utilizado em toda a indústria extrativa. A título de exemplificação, ele mencionou as seguintes aplicações industriais da bio-hidrometalurgia: a) minérios de ouro (São Bento Mineração); b) minérios de cobre (Chile); c) minérios de níquel; d) minérios de zinco. Em Minas Gerais, a biotecnologia aplicada à mineração tem sido adotada, prioritariamente nos processos extrativos das seguintes empresas: a) Votoratim Metais (Zn, Ni), b) minas de ouro (Anglo-Gold, Rio Paracatu, São Bento) e c) CDM – Vale (Santa Luzia) – reservas de cobre.

⁷⁵ DE SIMONE, Salvatore Giovanni. Centro de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde – CDTS/FIOCRUZ. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedep/UFMG, em 11 dez. 2008. Não publicado.

O palestrante apresentou o Instituto de Bio&Hidrometalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto e ressaltou que no Brasil existem apenas três grupos que realizam atividades de pesquisa na área. As principais parcerias acadêmicas do referido instituto são as seguintes: a) BIORECA: *Bioprocesos para remediación y reduccion de la contaminación ambiental* (rede CYTED); b) BIOPROAM: *Bioprocesos: Tecnologías limpias para la protección y sustentabilidad del medio ambiente* (rede Alfa, UE). Já com a indústria, o Instituto de Bio&Hidrometalurgia possui parcerias com a Companhia Vale do Rio Doce e a Votorantim Metais.

⁷⁶ GAZZINELLI, Ricardo Tostes. Interação universidade-empresa: minha experiência pessoal. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedep/UFMG, em 11 dez. 2008. Não publicado.

De Simone (2008) ⁷⁵, professor e pesquisador da Universidade Federal Fluminense e chefe de laboratório de bioquímica de proteínas da Fundação Osvaldo Cruz, chama a atenção para as principais ferramentas e técnicas adotadas atualmente na área, quais sejam: a) imagens médicas (uso de contrastes/agentes moleculares); b) veiculação de fármacos dirigidos (nanocapsulas, nanobombas, nanotubos, dendrimeros, lipossomas, emulsões e *quantum dots*); c) medicina personalizada {Identificação/diagnóstica precoce (poderá conduzir a uma terapia direcionada)}. Nesse sentido, observou a convergência da biotecnologia com os desenvolvimentos na nanotecnologia, configurando o campo altamente promissor da chamada "nanobiotecnologia" (*que envolve projetos que usam novas ferramentas/capacidades, na escala 1-500 nm*), com foco principal na manipulação de construção em nanoestruturas e aplicações práticas e científicas de nanoengenharia.

De Simone (2008) também ressaltou que o que mais interessa à FIOCRUZ no momento é a formação de biossensores que é uma área em amplo desenvolvimento na maioria dos países e que, segundo ele, vai revolucionar todo o processo diagnóstico.

Na sua percepção, existe um importante gargalo no país na fase de testes de fármacos e vacinas. O Centro de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde (CDTS/FIOCRUZ), no *campus* de Manguinhos, suprirá esta deficiência, segundo o pesquisador. O CDTS, a ser inaugurado em 2008, abrigará a gestão tecnológica, plataformas tecnológicas (de produtos e informática), laboratórios de apoio, coleções biológicas, experimentação animal e laboratórios flexíveis, os quais permitirão à FIOCRUZ o desenvolvimento de projetos em colaboração com o setor industrial. Entre as áreas contempladas pelo financiamento do CDTS estão as plataformas de Pesquisa e Desenvolvimento (genômica, proteômica, bioinformática etc.) que geram informações, e as de Desenvolvimento Tecnológico (toxicologia, produção e purificação de proteínas recombinantes e anticorpos monoclonais, coleções biológicas etc.) que geram ou lidam com produtos. Ele constituiu uma aposta da instituição na integração plena entre pesquisa, desenvolvimento e produção.

A missão do CDTS está orientada para o desenvolvimento de produtos e intervenções contra doenças negligenciadas e outras enfermidades e condições de saúde de importância epidemiológica ou econômica para o Brasil. Nessa perspectiva, ele se constituirá em sede do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Inovação em Doenças Negligenciadas.

Gazzinelli (2008) ⁷⁶, pesquisador da Fundação Osvaldo Cruz e professor e pesquisador do ICB/UFMG, destacou exemplos bem sucedidos de interações de seu laboratório de pesquisa (Laboratório de Imunoparasitologia, do Departamento de Bioquímica e Imunologia-ICB/UFMG) com empresas, que resultaram em desenvolvimento de produtos (kit de diagnóstico de toxoplasmose e vacina contra a leishmaniose visceral canina).

O primeiro caso relatado foi o do lançamento mundial do *kit* de diagnóstico de toxoplasmose pela empresa de bioquímica líquida, Katal (Belo Horizonte), a partir de estudos prévios do *Toxoplasma gondii*, realizados pela equipe do Prof. Gazinelli.

Outro exemplo de interação mencionado pelo palestrante verificou-se no âmbito do Instituto do Milênio de Tecnologia e Desenvolvimento de Vacinas, criado em 2005 com o suporte financeiro do CNPq e renovado em 2008 como Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento de Vacinas. Focado em vacinas para doenças negligenciadas (doença de chagas, dengue, leishmaniose, leptospirose, malária e toxoplasmose), o instituto comporta três divisões, quais sejam: a) Divisão de Imunologia Básica; b) Divisão de Tecnologia de Vacinas e; c) Divisão de Desenvolvimento de Vacina. As duas primeiras divisões são compostas por diversas instituições (FIOCRUZ, USP, UFMG, UFRJ, UFSC, UFU, UMASS, UNIFESP), às quais se somam as parcerias com indústrias públicas e privadas no âmbito da Divisão de Desenvolvimento de Vacinas. Nesse último caso, as parcerias estabelecidas foram as seguintes: a) Testes clínicos e Produção de Vacinas em Condições GMP com a Hertape Calier (empresa de produtos veterinários); e b) Testes pré-clínicos (roedores, cães e primatas) (Biomanguinhos-FIOCRUZ, Hertape Calier, FIOCRUZ, UFMG, UNIFESP, USP).

Como resultado da parceria entre a Hertape Calier e o Laboratório de Imunoparasitologia, ocorreu o desenvolvimento da Leish-Tec, vacina contra a leishmaniose visceral canina, a partir da tecnologia recombinante.

O palestrante mencionou ainda as parcerias Ludwig Institute of Cancer Research – UFMG no estudo do uso da propriedade adjuvante imunológica de protozoários no desenvolvimento de vacinas contra tumores; e Eisai – UMASS – UFMG para estudos no uso de antagonista de receptores da imunidade inata no tratamento dos sintomas da malária.

Guimarães (2008)⁷⁷, representante da EMBRAPA Milho e Sorgo, ressalta que a empresa faz parte da Rede Mineira de Biotecnologia para a Agropecuária (RMBA) que foi criada para possibilitar que a agropecuária mineira: a) evoluísse para a era da genômica, aumentando sua sustentabilidade e competitividade; b) desenvolvesse tecnologias de produção mais amigáveis ao meio ambiente; c) melhorasse o conhecimento e a utilização dos recursos naturais do Estado; e d) permitisse que os benefícios da era genômica chegassem também aos pequenos produtores. Esta rede focou nos projetos que já estavam em andamento nas instituições participantes ao invés de ter como objetivo a criação de novos projetos.

De acordo com a pesquisadora, os principais resultados da RMBA são: a) a integração entre grupos de pesquisa no estado de Minas Gerais; b) o fortalecimento da infraestrutura possibilitado por maiores recursos para investimento; c) a utilização de outras Redes como, por exemplo, a Genoma Minas; d) reunião em agosto 2008 com apresentação de resultados parciais; e e) resultados relevantes em todas as áreas e; f) a concretização de novos projetos.

A EMBRAPA Milho e Sorgo tem seu foco na transgenia e no melhoramento assistido. A instituição tem atividades nas linhas de pesquisa de produção vegetal, produção animal e sanidade animal. Na produção vegetal, pesquisa-se, entre outros, a lagarta-do-cartucho no milho e a biossegurança de soja transgênica. No que diz respeito à produção animal, o trabalho feito tem foco, entre outros, na reprodução animal por inseminação artificial, transferência e produção *in vitro* de embriões e na genômica funcional e prospecção de genes para resistência a carrapatos em bovinos. Já a linha de pesquisa em sanidade animal foca seu trabalho no desenvolvimento de kits diagnósticos, no estudo da variola bovina em Minas Gerais, entre outros.

⁷⁷ GUIMARÃES, Cláudia Teixeira. Biotecnologia: Embrapa Milho e Sorgo. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG. em 11 dez. 2008. Não publicado.

Na área de biotecnologia, alguns resultados relevantes foram obtidos no contexto da RMBA com relação aos estresses minerais, à tolerância ao alumínio e à eficiência no uso do fósforo. No que diz respeito aos estresses bióticos, os resultados relevantes foram a resistência ao mosaico comum em milho, a resistência à lagarta do cartucho em milho e a resistência a doenças em feijão.

Fonseca (2008)⁷⁸, professora adjunta do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio, citou algumas iniciativas autônomas em biotecnologia, tais como as redes de pesquisa do genoma brasileiro e os projetos desenvolvidos pela Fapesp em genômica e proteômica. Adquire destaque a rede ONSA, caracterizada por 32 laboratórios e agências de pesquisa, cujas principais funções são o sequenciamento genético de um fitopatógeno que causa perdas econômicas (material genético da bactéria *Xylella Fastidiosa*); o sequenciamento genético de um fitopatógeno que causa câncer cítrico (material genético da bactéria *Xanthomonas*); o desenvolvimento de protocolos de transformações genéticas, testes de patogenicidade; e a aplicação para controle de doenças a partir de bases moleculares. Além dela, há também a rede SUCEST, que segue uma linha de pesquisa que consiste no estudo funcional do genoma e transcriptoma da cana-de-açúcar e reúne quatro universidades (USP, UNICAMP, UNESP e UFRJ) e duas empresas (COPERSUCAR e CENTRALCOOL); e a rede Câncer, que estuda o transcriptoma de genes expressos do câncer (HTVI) e compara sequências gênicas de diferentes tipos de vírus na busca por genes de infecção. Quatorze projetos genoma foram concluídos e criaram importante base de informação genômica, indispensável para a pesquisa.

Fonseca (2008) ressalta que está sendo realizada ainda a pesquisa PIB-BIOTEC, que consiste na revisão da base de dados das pesquisas feitas anteriormente, por meio de um *survey*, com base em definição mais estrita de biotecnologia (biologia molecular) e com o objetivo de identificar as possibilidades de investimento. Empresas nacionais e empresas multinacionais e de organizações-chave foram separadas, como Cenargem-Embrapa, TECPAR, Butantã, Fundação Oswaldo Cruz e BioManguinhos, e os resultados preliminares mostram 44 empresas privadas de biotecnologia nacionais e 12 empresas multinacionais.

Segundo Greve (2008)⁷⁹, desde 2003, a DGF Investimentos vem investindo na Pele Nova, uma empresa do ramo de biotecnologia que produz o Biocure. Esse produto é um material ativo que induz a formação de novos vasos sanguíneos 1, 2, 3, 4, 5, 6 – angiogênese – na superfície a qual é aplicado. Este produto é utilizado em úlceras crônicas diabéticas, vasculares, de pressão (escaras de decúbito), pós-cirúrgicas ou traumáticas e é capaz de acelerar a regeneração tecidual, auxiliando feridas que duram meses, às vezes, anos, para cicatrizar.

O produto vinha sendo desenvolvido (fases pré-clínica e fase I) desde 1992, até que em 2002 foi criada a empresa Pele Nova. Após sua criação, a DGF Investimentos colocou três aportes de capital na empresa. Já no primeiro aporte, foi lançado o Biocure, para uso de cicatrização de feridas crônicas; entre o segundo e o terceiro aporte, nas fases II e III, houve o desenvolvimento de novas aplicações: anti-idade e anti-inflamatório.

Segundo Greve (2008), o lançamento do Biocure tomou um caminho completamente diferente das expectativas iniciais da DGF. O produto foi lançado, porém em proporções muito menores do que se esperava. A Pele Nova se transformou em uma empresa de P&D de novas aplicações com foco nos mercados nacional e internacional. Este novo foco da empresa conta com parcerias com laboratórios farmacêuticos e empresas de cosméticos para desenvolvimento de cada uma das novas aplicações.

⁷⁸ FONSECA, Maria da Graça Derengowski. Prospecção Tecnológica: Desafios e Oportunidades para Minas Gerais. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 10 dez. 2008. Não publicado.

⁷⁹ GREVE, Frederico d'Andrea. Workshop de Biotecnologia – Sectes/Cedeplar. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 10 dez. 2008. Não publicado.

APÊNDICE 2: Um Sumário do Workshop de Prospecção em Nanotecnologia (CEDEPLAR-UFMG/SECTES/FAPEMIG, 19 e 20 de novembro de 2008)

A nanotecnologia no Brasil apresenta-se incipiente, mas em evolução em termos de produção científica e tecnológica. De acordo com dados do CNPq na base corrente de grupos⁸⁰, o país apresenta 134 grupos de pesquisa nessa área de nanotecnologia, entre os quais 10 são provenientes de MG. Com relação às empresas, segundo Baibich (2008)⁸¹, representante do Ministério da Ciência e Tecnologia, 49 empresas possuem projetos em nanotecnologia. São elas: BioGenetics Indústria e Comércio, Biolab Sanus Farmacêutica Ltda, Braskem S.A., Dixtal Tecnologia Indústria e Comércio, GETEC Guanabara Química Industrial, Hewlett-Packard Computadores, Indústrias Químicas Taubaté S/A, Lagoa da Serra Ltda, Valleé S.A., Biosintética Farmacêutica, Cerâmica Sergipe S.A., Petrobrás, Tecnidente Equipamentos Ortodônticos, EF Engenharia Ltda, Embrarad Empresa Brasileira, Natura Inovação e Tecnologia, Ósea Technology Indústria e Comércio, Padtec S.A., Aegis Semicondutores Ltda, Chemy – Chemyuniom Química Ltda, Clorovale Diamante e Indústria, EMS S.A., FGM Produtos Odontológicos Ltda, FK Biotecnologia S.A., Indústrias Químicas Taubaté S.A., Itajara Minérios Ltda, Nanox Tecnologia S.A., Suzano Petroquímica S.A, Vigodent S/A Indústria e Comércio, Artecola Indústrias Químicas, Embraco, FGM Produtos Odontológicos, Oxiteno S.A. Indústria e Comércio, Angelus Indústria de Produtos, Chron Epigen Indústria e Comércio, Contech Produtos Biodegradáveis, Cristália Produtos Químicos, DENTSCARE Ltda, Dublauto Indústria e Comércio, Excellion Serviços Biomédicos S/A, Idealarma Indústria e Comércio, INNOVATE-CH MEDICAL Ltda, Internacional Científica Ltda, Kosmoscience, Leviale Indústria Cosmética Ltda, MAGMATTEC, Magnesita S/A, Nanocore Biotecnologia Ltda, Scitech Produtos Médicos Ltda, Steviafarma Industrial S/A, WSGB Laboratórios Ltda. Destas, 3 empresas são de Minas Gerais: BioGenetics Indústria e Comércio, Magnesita S/A e EF Engenharia Ltda.

Com relação às redes de pesquisa, Baibich (2008) destaca 10, apresentadas na tabela abaixo:

Tabela A2.1 - Redes de Nanotecnologia estabelecidas em 2005

Redes de Nanotecnologia	
1	Rede nanofotônica
2	Rede nacional de nanobiotecnologia e sistemas nanoestruturados (nanobiestruturas)
3	Rede de nanobiotecnologia molecular e de interfaces - Estágio III
4	Rede de nanobiomagnetismo
5	Rede cooperativa dev pesquisa em revestimentos nanoestruturados
6	Microscopias de varredura de sondas - software e hardware abertos
7	Nanotubos de carbono: ciência e aplicações
8	Simulação e modelagem de nanoestruturas
9	Nanoglicobiotecnologia
10	Nanocosméticos: do conceito às aplicações tecnológicas

Fonte: BAICHI, Mario N. Iniciativas do MCT em Nanotecnologia. 2008. Transcrição do trabalho apresentado Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 20 nov. 2008. Não publicado.

Há algumas linhas de pesquisa, nas quais estão presentes os grupos de pesquisa da UFMG, que estão bastante avançadas. O exemplo mais notável dessas linhas é a de pesquisa em nanotubos de carbono, cujas características físico-químicas permitem que estes sejam aplicados em diversos componentes tais como: fibras de carbono, componentes eletrônicos, baterias, microscópios de força atômica entre outros. Também podem ser aplicados na medicina, pois possuem a característica de interagir com os elementos que compõem os ossos, sendo útil em tratamentos de regeneração óssea, por exemplo. Na verdade, essa linha de pesquisa é desenvolvida por uma rede de pesquisa chamada Rede Nacional de Pesquisa em Nanotubos, na qual, além dos grupos de pesquisa da UFMG e CNEN, estão os grupos da UNIFRA-RS, UFPR-PR, UFRJ-RJ, USP-SP, UNICAMP-SP, UFC-CE, UFMA-MA e UFPA-PA.

⁸⁰ Pesquisa realizada utilizando-se como palavra-chave "nanotecnologia" para a busca no diretório.

⁸² Fonte: BAIBICH, Mario N. Iniciativas do MCT em Nanotecnologia. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 20 nov. 2008. Não publicado.

Algumas empresas que estão pesquisando em parceria com essas universidades para implantar a tecnologia de nanotubos de carbono em seus produtos fazem parte de diversos setores, como por exemplo o setor de termoplásticos, onde a Plásticos Mueller utiliza os nanotubos para aplicação em nanocompósitos para aplicações automotivas. No setor de energia, a Petrobras utiliza os nanotubos para aplicá-los em sensores de gases e revestimentos de tubulações e a Cemig utiliza o mesmo material para fabricação de materiais para células combustíveis. No setor de eletrônica, a Micropress utiliza os nanotubos para interconexões em microeletrônica; no setor siderúrgico, a Magnesita utiliza os nanotubos para aumentar a resistência e durabilidade do seu material refratário, substituindo o grafite; e a Saint-Gobain está produzindo nanotubos de titanato. Em energia solar, a Flexitec Eletrônica utiliza os nanotubos como materiais para células fotovoltaicas. Segundo Pimenta (2008)⁸², professor titular e pesquisador da Universidade Federal de Minas Gerais, a utilização desse material para a produção dessas células aumenta bastante a eficiência das mesmas. Finalmente, a CENIC, em conjunto com o CDTN, está utilizando os nanotubos de carbono como parte do material para fabricação de componentes para aeronaves. Foi relatado no workshop que alguns profissionais liberais da área de medicina veterinária estão utilizando nanotubos para regeneração de ossos em animais, mas ainda em fase experimental.

Outra área da nanotecnologia cujas pesquisas estão mais intensas é a nanobiotecnologia. Esta ciência consiste em criar novas substâncias e substâncias já existentes para elaborar novos medicamentos para o uso em pacientes, para fins de tratamento de patologias (fármacos), como o câncer, e as doenças tropicais, e também para elaborar substâncias que permitem a realização de exames e testes de forma mais nítida, para visualização e análise de resultados, e menos agressiva ao organismo. As principais vantagens econômicas são a redução do tempo de desenvolvimento dos medicamentos, o que permite que mais medicamentos sejam produzidos para combater maior variedade de doenças, e a possibilidade de estender a patente do medicamento em questão que tem seu componente alterado, permitindo obtenção de receitas por royalties por mais tempo pelas empresas que desenvolvem os fármacos. No Workshop de Prospecção Tecnológica de 2008, por exemplo, o principal resultado apresentado pela rede de pesquisa em nanobiotecnologia em questão (composta pelos departamentos de química e biologia da UFMG), foi o avanço da utilização da nanotecnologia na produção de medicamentos contra a leishmaniose em sua forma visceral, que ataca humanos e caninos. Devido à fase menos adiantada na qual se encontra esta pesquisa, não se tem notícia de nenhuma empresa nacional que esteja utilizando os nanocarreadores e os nanossensores em seus produtos ainda.

Há ainda uma linha de pesquisa relevante no cenário nacional em nanotecnologia; a que desenvolve nanocompósitos como componentes de polímeros para alterar determinadas características dos plásticos, como a resistência e a flexibilidade, por exemplo. Esses plásticos modificados são direcionados para demandas específicas de vários produtos, como caçambas para caminhões e bancos para ginásios e estádios. Esses exemplos foram citados no workshop de prospecção tecnológica em 2008, mas de acordo com os dados da base corrente do CNPq, existem 80 grupos de pesquisa que trabalham com essa linha de pesquisa no Brasil inteiro. É possível observar que essa linha de pesquisa em nanocompósitos está em franco desenvolvimento devido ao fato de a indústria química brasileira ser forte mundialmente e estar, aos poucos, investindo em nanotecnologia para diferenciar seu produto. O investimento mais significativo em inovação é liderado por grandes e consolidadas empresas brasileiras e multinacionais com plantas no Brasil. Só para citar o exemplo de algumas empresas, a Braskem já possui uma patente própria de nanocompósito no seu polipropileno, utilizado em plásticos resistentes na produção de carrocerias e vagões de carga e outra patente para um polipropileno utilizado na fabricação de tubos PVC. A Quattor utiliza um nanocompósito para aumentar a resistência à chamas do seu plástico, material utilizado para a produção de bancos, e para proteger contra microorganismos o seu plástico utilizado em embalagens. A Cedro Cachoeira utiliza nanocompósitos para fabricar tecidos resistentes a chamas para roupas específicas.

⁸² PIMENTA, Marcos Assunção. Nanotubos de Carbono. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 19 nov. 2008. Não publicado.

Galemberg (2008)⁸³, pesquisador da UNICAMP, apresentou um exemplo de uma linha de pesquisa de sua universidade que se tornou um produto, e foi criada uma empresa para gerenciá-lo. A linha de pesquisa consistia em criar nanocompósitos de látex com quantidades determinadas de argila misturadas. O resultado da pesquisa foi o produto Imbrik, um nanocompósito de borracha natural que pode ser utilizado como uma borracha vulcanizada em várias aplicações industriais e de exploração florestal. A empresa, oriunda do grupo de pesquisa que detém os direitos da patente e comercialização, é a Orbyx.

Assim como a Orbyx, duas empresas que participaram do workshop, a Nanum e a Nanobrax são originárias de grupos de pesquisa da UFMG e UFU, respectivamente, e são especializadas em prover soluções em nanotecnologia para as indústrias. A Nanum atua na fabricação de metais nanoparticulados como óxido de zinco e de cobalto, dispositivos nanodispersos, entre outros dispositivos que atendem as indústrias de cerâmicas, vidros e refratários, plásticos, tintas e vernizes, polidores, cimentos especiais e dispositivos eletroeletrônicos. Ela atua em joint-venture com a Clamper, na área de dispositivos eletroeletrônicos, parceria na qual a última empresa planeja investir em infraestrutura de pesquisa e produção para os projetos em conjunto. Já a Nanobrax atua em outro segmento, o de produção de fotocatalisadores nanométricos com aplicações na área de tratamento de efluentes líquidos e gasosos, agentes desodorizantes, esterilizadores aéreos para ambientes fechados, superfícies autolimpantes assistidas por radiação e formulações de protetores e bloqueadores solares.

Finalmente, duas áreas de pesquisa completam o rol de linhas de pesquisa nas quais o Brasil, e Minas Gerais em particular, produzem conhecimento científico relevante para o mundo e que está no momento colhendo seus primeiros frutos tecnológicos na indústria. A primeira linha de pesquisa é a de sensores baseados em nanoestruturas para produção de fotodetectores em infravermelho, estudo conduzido por uma rede de pesquisa dos departamentos de física de várias universidades no Brasil, como a UFMG, a UFSCar, UFRJ e PUC-RJ e financiados por vários órgãos governamentais, entre eles a FINEP e o CNPq. Entre as aplicações desses fotodetectores estão a janela ótica para satélites em telecomunicações, o controle de vazamento de gases nas indústrias, aumentando a segurança industrial e na medicina militar. A DSD é uma empresa oriunda do grupo de pesquisa do departamento de física da UFMG que produz e comercializa esses fotodetectores para o mercado, a partir de resultados da pesquisa desenvolvida.

A segunda linha de pesquisa é, na verdade uma espécie de auxílio no controle de qualidade de projetos de P&D de grandes empresas. Assim foi definida no workshop a função do INMETRO e o objetivo da pesquisa em metrologia. O INMETRO desenvolve a pesquisa em metrologia em quatro grandes áreas da nanotecnologia.

As nanopartículas têm por objetivo testar a estabilidade das partículas em meio líquido. A Petrobras desenvolve um projeto em conjunto com o INMETRO nessa área, cujo objetivo é conseguir óleos com propriedades térmicas superiores para aumentar a eficiência do motor do carro. Além disso, várias empresas participam da pesquisa que o INMETRO realiza na área de nanocristalitos com o objetivo de identificar as propriedades do mesmo para futura utilização.

A nanocatálise procura estabelecer a reação entre ciência de superfície e a catálise pela nanotecnologia, objeto de interesse da indústria química brasileira, para identificar maneiras mais eficazes de trabalhar com a catálise de CO para CO₂, processo existente em veículos comuns, por exemplo.

Há também a busca por novos materiais orgânicos semicondutores, caso da pesquisa em LED's orgânicos, que são mais baratos, poluem menos o ambiente e podem ser produzidos em materiais flexíveis. O INMETRO fabrica esses *led's* orgânicos para testar e encontrar um padrão de medidas para a iluminação dos mesmos. Finalmente, o INMETRO também participa da pesquisa em nanotubos de carbono, procurando identificar propriedades para aplicações em nanoeletrônica, em especial.

⁸³ GALEMBERG, Fernando. Eletrostática e nanoestruturas. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 20 nov. 2008. Não publicado.

POLÍTICAS PÚBLICAS

De acordo com o MCT, o programa brasileiro para ciência, tecnologia e inovação deverá ampliar os investimentos e reorganizar o programa para a convergência entre política industrial e a política científica e tecnológica. Isso deverá ser feito através de uma maior utilização dos avanços científicos das várias instituições integrantes desse programa pelas indústrias, com o objetivo de aumentar a competitividade das últimas no mercado global e introduzir fortemente os produtos oriundos da nanotecnologia no mercado nacional. O MCT financia alguns laboratórios nacionais que desenvolvem pesquisa em nanotecnologia, como o INT, LNLS, o Cetene entre outros. As iniciativas do ministério para a nanotecnologia englobam apoio a redes de pesquisa, fomento aos projetos de pesquisa, projetos de P&D em cooperação, financiamento de laboratórios e equipamentos multiusuários, cooperação internacional, apoio a incubadoras, entre outras. Os investimentos nesse programa na área de nanotecnologia são ainda modestos, mas vem crescendo em volume. Em 2004, no início do programa, foram investidos cerca de R\$ 22 milhões e já em 2007, os investimentos totais foram da ordem de R\$ 60 milhões, sendo a maioria deles concedido mediante fundos setoriais, editais e empréstimos da FINEP. Para 2009, segundo o palestrante, o orçamento do MCT prevê R\$ 31,9 milhões serem investidos, sendo R\$ 6 milhões na consolidação da infraestrutura de laboratórios regionais de nanotecnologia, R\$ 7,5 milhões em apoio institucional a projetos de P&D na área e R\$ 8,5 milhões em fomento de projetos de P&D.

⁸⁴ CAMACHO, José Roberto. Estágio da pesquisa em termos de evolução do uso de energias renováveis, em especial, da energia solar. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG, em 24 nov. 2008. Não publicado.

APÊNDICE 3: Um Sumário do Workshop de Prospecção em Energia Solar (CEDEPLAR-UFMG/SECTES/FAPEMIG, 24 e 25 de novembro de 2008)

Segundo Camacho (2008) ⁸⁴, professor de solar da Universidade Federal de Uberlândia e membro sênior do Institute of Electrical and Electronics Engineers, pesquisadores vêm desenvolvendo rotas para o desenvolvimento de processos adequados para facilitar a tecnologia de construção de células de Disselenieto de Cobre-Índio (CuInSe₂ ou CIS). Este trabalho é focado em processos que sejam baratos, mantendo porém o desempenho elevado. Quatro processos primários estão sendo estudados, e o mais promissor será o escolhido para desenvolvimento futuro. Estas pesquisas se concentram em quatro áreas: desenvolvimento do processo, que consiste em vários métodos de deposição adequados para a comercialização da tecnologia CIS, incluindo sublimação/evaporação, eletrodeposição e jatos de spray; formação da junção em ambiente natural; substrato/contato posterior; e desenvolvimento da capacidade. No que diz respeito à segunda área citada, está sendo estudado como integrar a formação da junção no processo de fabricação por absorção, e já foi demonstrada a possibilidade de utilizar este processo com um dispositivo com aproximadamente 10% de eficiência e que não utiliza sulfureto de cádmio. No que tange ao substrato/contato posterior, está sendo estudado o impacto do contato de substrato vítreo e molibdênio (Mo) em células solares baseadas em CIS, bem como projetos alternativos ao vidro/Mo. Quanto ao último ponto, estão sendo desenvolvidos sistemas de deposição mais confiáveis do Mo e um processo de corrente direta reativa no óxido de zinco (ZnO) para aumentar a velocidade e taxas de deposição. Isto seria essencial para o avanço da tecnologia CIS do estágio fundamental para a pré-comercialização.

No que diz respeito à energia solar para aquecimento, segundo Camacho (2008), alguns estudos atuais envolvem a geração de calor para residências, edifícios e grandes indústrias, que poderiam inclusive utilizar concentradores solares para a produção de energia elétrica em maior escala através do superaquecimento do vapor produzido com produção de energia elétrica, resultando em um menor gasto de energia primária.

Ainda segundo Camacho (2008), dentro do subprograma Concentração da Energia Solar (CES), as atividades de pesquisa e desenvolvimento focam nas seguintes áreas: sistemas com concentrador linear; sistemas com concentrador circular e motor térmico; sistemas com torre de energia; armazenamento térmico, torre solar e componentes e sistemas avançados.

Colle (2008)⁸⁵, como professor titular pela Universidade Federal de Santa Catarina, vem desenvolvendo projetos na área de energia solar desde 1981, dando foco sobretudo à conversão termosolar e fotovoltaica; ao desenvolvimento de aquecedores solares; à testes de coletores e sistemas; aos cenários econômicos de energia solar para aquecimento doméstico; na geração termosolar e refrigeração; e na solarimetria. Seu laboratório desenvolve um projeto grande e robusto em parceria com a Petrobrás. Foi construído um novo laboratório, várias instalações, e criou-se a única estação que produz dados para o centro mundial de radiação de Zurique, há cerca de 16 anos. Há também uma central de testes de equipamentos solares, produzida inteiramente pelo laboratório, com custo de 60 mil dólares; uma unidade de teste dinâmico, que produz testes, certificações e gráficos de desempenho equivalentes à metodologia do teste estacionário que, por sinal, tem uma instalação padrão na PUC de Minas Gerais.

Colle (2008) realizou ainda um experimento, em parceria com a Caixa Econômica Federal, no Condomínio Residencial Solar Buona Vita, em Canavieiras, Florianópolis. Foi o primeiro experimento científico de escala consistente realizado no Brasil, focando a questão dos aquecedores solares e chuveiros elétricos. Noventa famílias foram escolhidas para a classe amostral, das quais sessenta receberam sistemas de aquecimento solar conjugados a chuveiro elétrico. Os grupos de consumidores foram escolhidos através de critérios de perfil de consumo e hábitos bem definidos, e o consumo de energia elétrica de cada chuveiro foi medido automaticamente com medidores digitais da CELESC, a cada seis minutos e horariamente. O conjunto, tanto quanto as variáveis meteorológicas, foram monitorados durante dois anos. As características do aquecedor solar conjugado a chuveiro elétrico eram as seguintes: capacidade de 100 litros de água quente; coletor solar de placa plana com projeto especial, com área útil de 1,4m²; e um sistema compacto – reservatório térmico e coletor integrados – dotado de um misturador termostático de água, que assegura a temperatura da água quente à 38oC. O custo da unidade encomendada – fabricada por uma empresa catarinense e etiquetado conforme norma do INMETRO, com classificação A e testado no ITW (*Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik*), Universidade de Stuttgart, Alemanha – foi de R\$ 900,00 (preço atual R\$ 1.300,00, ou US\$ 666,00 dólares). É um protótipo de aquecedor solar de baixo custo e de maior eficiência, quando comparado com similares estrangeiros, como por exemplo aqueles fabricados pela Haining Jixiang Solar Energy, na China, e pela Solco, na Austrália. O pico foi reduzido em 60% na média anual e, mesmo para Santa Catarina, uma região desfavorável no âmbito da energia solar, uma substancial redução do pico de demanda foi verificada e a fração de ganho solar medida foi de aproximadamente 58%. Nas regiões norte e nordeste, este ganho pode alcançar mais que 70%.

Ainda segundo o professor, a única iniciativa brasileira em geração termosolar é empreendida pelo CENPES / Petrobras, financiando o projeto básico de um sistema de cogeração para produção de energia elétrica, refrigeração e água dessalinizada do nordeste brasileiro.

No que diz respeito à energia fotovoltaica, Branco (2008)⁸⁶, pesquisador da Fundação Cetelec e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, vem utilizando uma estratégia que passa pela redução do consumo de sua matéria prima – ou redução de sua demanda térmica – reduzindo temperaturas e reduzindo o impacto ambiental. Ela consiste em transformar o silício metalúrgico em gás puro, que é então transformado em um silício mais puro, para obter lâminas, com espessura na ordem de um micrometro, reduzindo a complexidade do meu processo, que anteriormente passava pela obtenção de engotes que deveriam ser posteriormente cortados. Isso significa uma redução do consumo do silício em aproximadamente 500 vezes.

Zanescos (2008)⁸⁷, coordenadora do Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica, está atualmente com sete projetos relacionados à energia. O primeiro deles diz respeito à redução dos custos dos módulos fotovoltaicos, e apresenta produtos já em pesquisa. O segundo está relacionado à fabricação e caracterização de módulos

⁸⁵ COLLE, Sérgio. O papel das instituições de pesquisa no desenvolvimento da conversão termosolar no Brasil. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG. em 24 nov. 2008. Não publicado.

⁸⁶ BRANCO, José Roberto. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG. em 24 nov. 2008. Não publicado.

⁸⁷ ZANESCO, Izete. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG. em 24 nov. 2008. Não publicado.

fotovoltaicos concentradores estático, em parceria com a Companhia Estadual de Energia Elétrica. O terceiro é o desenvolvimento de células solares industriais e substrato de silício multicristalino, também com a Companhia Estadual de Energia Elétrica. O quarto projeto consiste no desenvolvimento de um forno para processar células solares, junto com a FINEP e uma empresa local. O quinto projeto, por sua vez, é a implementação de duas unidades de energia elétrica com módulos fotovoltaicos, financiada pelo Ministério de Minas e Energia. O sexto projeto é a planta piloto de módulos fotovoltaicos com tecnologia nacional, financiado pela Finep, Petrobras, CEER e Eletrosul. Finalmente, o último projeto consiste na produção de módulos fotovoltaicos com tecnologia nacional de alto-eficiência, implementação da planta piloto e análise dos resultados de produtividade e pesquisas do CNPQ.

Marques (2008)⁸⁸, professora adjunta três da PUC Minas e coordenadora do Green Solar, tem procurado trabalhar com várias universidades, com vários CEFETs, SENAIs, para qualificar e preparar pessoas nas diferentes áreas de atuação de energia solar, com o apoio da Finep e da Eletrobrás. Além disso, o Green é o laboratório responsável pela criação de um programa brasileiro de etiquetagem dos coletores solares e reservatórios de energia para o INMETRO, de modo a garantir a qualidade e a eficiência dos produtos nacionais. O grupo trabalha ainda com a Fiat, na avaliação de películas para os vidros de automóveis, no comportamento das tintas e, atualmente, trabalha também com a temperatura da maçaneta, por meio de condições controladas por um simulador solar, criado em 2004. Esse simulador adquiriu extrema importância, pois acelerou o número de ensaios feitos pelo laboratório, além de reduzir o seu tempo. A professora destaca que a Cemig, nos anos 1990, começou a fazer medições para verificar se os aquecimentos solares centrais estavam bem instalados. Com o aval da concessionária de energia, grandes construtoras e prédios mais luxuosos passaram a utilizar aquecimento solar central. E ainda, a partir de 2007 todas as casas populares de Minas deverão ser entregues com o aquecimento solar.

Marques (2008)⁸⁹, atualmente professor associado da Estadual de Campinas e diretor associado do Instituto de Física, trabalha em um laboratório, localizado na UNICAMP, onde são feitas as difusões de fósforo para a fabricação de células solares. Há ainda sistemas que permitem obter não só células solares, mas também a fabricação de outros materiais. Nesse laboratório, são fabricadas células solares de silício mono cristalino.

⁸⁸ MARQUES, Elizabeth. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG. em 24 nov. 2008. Não publicado.

⁸⁹ MARQUES, Francisco das Chagas. Confronto entre os aspectos ambientais e econômicos da energia solar com a matriz energética brasileira. 2008. Transcrição do trabalho apresentado no Workshop de Prospecção em Biotecnologia, organizado pelo Cedeplar/UFMG. em 25 nov. 2008. Não publicado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 7th FRAMEWORK PROGRAM. Informações Institucionais. Disponível em: http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html. Acesso em 2008.
- ABERNATHY, W.J., UTTERBACK, J., 1978. Patterns of industrial innovation. *Technology Review* 80, 41–47.
- AEB – AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/>. Acesso em 2008.
- AEROMOT INDÚSTRIA MECÂNICO-METALÚRGICA LTDA. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.ximango.com/ogrupos.htm>. Acesso em 2008.
- AFUAH, A., UTTERBACK, J.M., 1997. Responding to structural industry changes: a technological evolution perspective. *Industrial and Corporate Change* 6 (1), 183–202.
- AGENDA 21 BRASILEIRA: AÇÕES PRIORITÁRIAS. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. 2ª ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 158 p.
- AIAB – ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS AEROESPACIAIS DO BRASIL. A Indústria Aeroespacial Brasileira: Situação Atual. In: Workshop do Setor Aeronáutico – DECOMTEC/FIESP, São Paulo, 2007.
- AIAB – ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS AEROESPACIAIS DO BRASIL. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.aiab.org.br/portugues/>. Acesso em 2008.
- ALAC – ARMA LEVE ANTI-CARRO. Informações Técnicas. Disponível em: http://www.defesanet.com.br/eb/eb_alac.htm. Acesso em 2008.
- ALBUQUERQUE, E. (2009b) Catching up no século XXI: construção combinada de sistemas de inovação e sistemas de bem-estar social. In: SICSÚ, J.; MIRANDA, P. Crescimento econômico – estratégias e instituições. Brasília: IPEA, pp. 55-83 (disponível em http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/livros/2009/Livro_CrescimentoEconomico.pdf).
- ALBUQUERQUE, E.; SILVA, L.; RIBEIRO, L.; BAESSA, A. (2009) Atividades de patenteamento no Brasil e no exterior (Capítulo 5) In: SUZIGAN, W. (coordenador) *Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo* FAPESP 2008/9. São Paulo: Fapesp (no prelo)
- ALMEIDA, P., KOGUT, B., 1999. Localization of knowledge and the mobility of engineers in regional networks. *Management Science* 45 (7), 905–918.
- AMATO, F. Satélite Geoestacionário Brasileiro: Rússia e França vão ajudar Brasil em projeto de satélite. São Paulo: Folha de São Paulo, 2 nov. 2008.
- ANDERSON, P., TUSHMAN, M. L., 1990. Technological discontinuities and dominant designs: a cyclical models of technological change. *Administrative Science Quarterly* 35 (4), 604–633.
- ANNUAL REPORT 2007. Large-Scale Photovoltaic Power Plants – Cumulative and annual Installed Power Output Capacity. pvresources.com. Copyright: ©Denis Lenardic. Revised Edition April, 2008.
- ARES AEROESPACIAL E DEFESA. Informações Institucionais. Disponível em: http://www.ares.ind.br/A_Empresa.htm. Acesso em 2008.
- ASSAD, A. L. D. AUCÉLIO, J. G. (2004). Biotecnologia no Brasil – Esforços Recentes, em Silveira, J. M. Dal Poz, M. E. Assad, A. L. Biotecnologia e Recursos genéticos. Desafios e oportunidades para o Brasil. UNICAMP-FINEP, Campinas.
- ASTROS II. Informações Gerais. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Astros_II_MLRS. Acesso em 2008.
- ATECH. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www2.atech.br/home.atech>. Acesso em 2008.
- ATMOS RADAR. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.atmosradar.com.br/site/home/index.php>. Acesso em 2008.
- AVELLAR, A.P. (2008). Avaliação do Impacto do PDTI Sobre o Gasto em Atividades de Inovação e em P&D das Empresas Industriais em Política e incentivos à inovação tecnológica.. IPEA, Brasília.

AVENEL, E., FAVIER, A.V., MA, S., MANGEMATIN, V., RIEU, C., 2007. Diversification and hybridization in firm knowledge bases in nanotechnologies. *Research Policy* 36, 864–870.

AVIBRAS. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.avibras.com.br/index.asp>. Acesso em 2008.

AVIC – AVIATION INDUSTRY OF CHINA. Informações Gerais. Disponível em: <http://www.globalsecurity.org/military/world/china/avic.htm>. Acesso em 2008.

BAE SYSTEMS. Annual Report, 2007.

BAE SYSTEMS. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.baesystems.com/>. Acesso em 2008.

BANDEIRA, M. As relações perigosas: Brasil-Estados Unidos (de Collor a Lula, 1990-2004). Rio de Janeiro, Ed. Record, 2004.

BARTELS W. A importância da Indústria Aeroespacial para o Brasil. *Tecnologia & Defesa*, n. 115, São Paulo, 2008.

BASTOS, LEOPOLDO. A conversão térmica da energia solar: questões relacionadas a equipamentos e sistemas. Belo Horizonte: Workshop em Prospecção Tecnológica – Energia Solar, 2008. 53 slides: color.

BÉDIER, C.; VANCAUWENBERGHE, M.; VAN SINTERN W. The Growing role of emerging markets in Aerospace. *The McKinsey Quarterly*, apr. 2008

BERGERON, B. & CHAN, P.(2004). *Biotechnology Industry.A Global Economic and Financing Overview*.Ed. John Wiley and Sons Hoboken, New Jersey,2004.

BERMANN, CÉLIO. Crise ambiental e as energias renováveis. *Ciência e Cultura*, vol.60, nº 3, p.20-29, Set. 2008.

BERNARDES, R.C. Embraer: Elos entre o Estado e Mercado. São Paulo: Hucitec/FAPESP, 2000.

BERNARDES, A. (2009) Desafios e propostas para o futuro da siderurgia. Rio de Janeiro: Inmetro (Apresentação no Congresso da ABM).

BEUZEKON, B. e ARUNDEL, A. (2006). *OECD Biotechnology Statistics (OECD-I)*.

BIOMINAS (2001). Parque Nacional de Empresas de Biotecnologia. Fundação Biominas, Belo Horizonte.

BIOMINAS (2007). Estudo de Empresas de Biotecnologia do Brasil. Fundação Biominas, Belo Horizonte.

BLIND, K., 2006. Explanatory factors for participation in formal standardization processes: empirical evidence at firm level. *Economics of Innovation and New Technology* 15 (2), 157–170.

BOMBARDIER. Annual Report, 2007.

BONACCORSI, A., 2005. Search regimes and the industrial dynamics of science. Working paper.

BONACCORSI, A., THOMA, G., 2007. Institutional complementarity and inventive performance in nano science and technology. *Research Policy* 36, 813–831.

BONALUME NETO, R. Indústria bélica sobrevive com exportações. São Paulo: *Folha de São Paulo*, 8 dez. 2007.

BOZEMAN, B., MANGEMATIN, V., 2004. Editor's introduction: building and deploying scientific and technical human capital. *Research Policy* 33 (4), 565–568.

BRANCO, JOSÉ ROBERTO. O papel das ICT's para o desenvolvimento científico e tecnológico em energia solar: célula fotovoltaica. Belo Horizonte: Workshop em Prospecção Tecnológica – Energia Solar, 2008. 53 slides: color.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Diretório dos Grupos de Pesquisa (DGP). Base corrente. Disponível em: <http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/>. Acesso em: 03 nov. 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006. Relatório final. 192p. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=14493. Acesso em: 05 nov. 2008.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional da Propriedade Intelectual. Base de Patentes. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br>. Acesso em: 29 out. 2008.

BRAUN, T.; GLANZEL, W.; GRUPP, H. (1996) The Weight of 50 Nations in 27 Science Areas, 1989-1993 (Part I). *Scientometrics*, v. 33, n. 3, pp. 263-293.

CABRAL PINTO, M.A.; MIGON, M.N. Alternativas para o adensamento da cadeia produtiva aeronáutica brasileira: O "modelo europeu". *BNDES Setorial*, n. 24, Rio de Janeiro, BNDES, set. 2006.

CABRAL PINTO, M.A.; MIGON, M.N.; MONTORO, G.C.F. Convergência Público-Privada no Adensamento da Cadeia Produtiva Aeronáutica Brasileira. *Revista do BNDES*, n. 28, Rio de Janeiro, BNDES, dez. 2007.

CALLAERT, J.; VAN LOOY, B.; VERBEEK, A.; DEBACKERE, K.; THUS, B. (2006) Traces of prior art: an analysis of non-patent references found in patent documents. *Scientometrics*, v. 69, n. 1, pp. 3-20.

CALT – CHINA ACADEMY OF LAUNCH VEHICLE TECHNOLOGY. Informações Gerais. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/China_Academy_of_Launch_Vehicle_Technology. Acesso em 2008.

CAMACHO, K. Helibras transfere produção para Brasil e busca fornecedor local. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u442429.shtml>. Acesso em 2008.

CÂMARA, G. O INPE no século XXI: Desafios e Oportunidades. *INPE*, 30 abr. 2007. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/inpe/inpe_seculo21.ppt. Acesso em 2008.

CAMPBELL, K. África do Sul e Brasil Procuram Relacionamento de Longo Prazo com Programa de Mísseis. *Engineering News*, 08 ago 2008. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/fab1/a-darter.htm>. Acesso em 2008.

CANDIDO, J. Um novo tempo para a indústria de defesa: As ações e projetos que estão resgatando esse importante instrumento do Estado Brasileiro. *Tecnologia Et Defesa*, n. 114, São Paulo, 2008.

CARNEIRO, S. J., LOURENÇO, R. Pós-graduação e pesquisa na universidade. In: VIOTTI, E.; MACEDO, M. M. (orgs) *Indicadores de ciência, tecnologia e inovação no Brasil*. Campinas: Editora Unicamp, 2003.

CARVALHO, F. C. (2005) Sistema financeiro brasileiro: a modernização necessária. In: SICSU, J.; PAULA, L. F.; MICHEL, R. *Novo-desenvolvimentismo: um projeto nacional de crescimento com equidade social*. Barueri: Editora Manole.

CASC – CHINA AEROSPACE SCIENCE TECHNOLOGY CORP. Informações Gerais. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/China_Aerospace_Science_and_Technology_Corporation. Acesso em 2008.

CASPER, S. E MATRAVES, C.(2003): *Institutional Framework and Innovations in German and UK Innovation Industries*, Research Policy, Vol 32.

CECOMSAER – CENTRO DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DA AERONÁUTICA. Aeronáutica cumpre mais uma etapa do projeto F-X2. *FAB*, 30 out. 2008. Disponível em: <http://www.fab.mil.br/portal/capa/index.php?mostra=1775>. Acesso em 2008.

CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS (2008). *Convergência Tecnológica*. Brasília. 2008.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). *Estudo Prospectivo para Energia Fotovoltaica*. Brasília: 2008. 140 p.

CHANDLER, A. (2005) *Shaping the industrial century: the remarkable story of the evolution of the modern chemical and pharmaceutical industries*: Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

CHEN, H., Li X. and LIN, Y. (2008). Trends in Nanotechnology Patents. *Nature nanotechnology* Vol. 3, March. www.nature.com/naturenanotechnology.

Chesnais, F. e SAVIAT, C.(2000) *The financing of Innovation in the Contemporary Global Finance Dominated Accumulation Regime*.

COHEN, W.; NELSON, R.; WALSH, J. (2002) Links and impacts: the influence of public R&D on industrial research. *Management Science*, v. 48, n. 1, pp. 1-23.

COLLE, SÉRGIO. O papel das Instituições de Pesquisa no desenvolvimento da conversão termosolar no Brasil. Belo Horizonte: Workshop em Prospecção Tecnológica – Energia Solar, 2008. 55 slides: color.

Corolleur, F., CATHERINE, D., CARRERE, A., MANGEMATIN, V., 2004. Turning scientific and technological human capital into economic capital: the experience of biotech start-ups in France. *Research Policy* 33 (4), 631.

COSTA, J. J. (2008) O capital de risco nos Estados Unidos. Belo Horizonte: FACE-UFMG (Monografia de conclusão de curso).

CSA – CANADIAN SPACE AGENCY. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/default.asp>. Acesso em 2008.

DAL POZ, M. E. FONSECA, M. G. D. DA SILVEIRA, J. M. (2004) Políticas governamentais de apoio à pesquisa genômica, em: da Silveira, Dal Poz e Assad, *Biotecnologia e Recursos Genéticos. Desafios e oportunidades para o Brasil*. UNICAMP-FINEP, Campinas.

DALCOMUNI, S. M., 2005. Nanotecnologia Inovação Economia. In Martins, P.R. *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente: 1º Seminário Internacional*. São Paulo: Associação Editorial Humanitas.

DALCOMUNI, S. M., 2006. Nanotecnologia, Inovação e Economia: interrelações fundamentais para o desenvolvimento sustentável. In Martins, P.R. *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente: 3º Seminário Internacional*. São Paulo: Xamã.

DARBY, M., ZUCKER, L., 2003. Grilichesian breakthroughs: inventions of methods of inventing and firms entry in nanotechnology. NBER, Working Paper 9825.

DARPA – DEFENSE ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.darpa.mil/>. Acesso em 2008.

DASSAULT AVIATION. *Annual Report, 2007*.

DECEA – DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. Concepção Operacional Futura da Bacia de Campos. Disponível em: http://www.decea.gov.br/cnsatm/seminario_macae/workshop_macae.pdf. Acesso em 2008.

DELGADO BASTOS, V. (2004). Incentivo à inovação: tendências internacionais e no Brasil e o papel do BNDES junto às grandes empresas, *Revista do BNDES*, v.11, n. 21, p.107-138, Rio de Janeiro, BNDES.

DENEGRI, JOÃO ALBERTO (2008). Lei de Inovação: Avanços e Desafios. Apresentação Inova Unicamp, 16 de outubro de 2008

DENEL. *Annual Report, 2007*.

DINIZ, ANTÔNIA SÔNIA A. CARDOSO. Contribuição da energia solar para a expansão do sistema de distribuição. Belo Horizonte: Workshop em Prospecção Tecnológica – Energia Solar, 2008. 25 slides: color.

DOSI, G., 1982. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy* 11, 147–162.

DRUMOND, C.D. Robusto e Brasileiro. *Tecnologia & Defesa*, n. 111, São Paulo, 2007.b.

DUCA, J. & YUCEL, M. (2002) Science and Cents. Exploring the Economics of Biotechnology. Texto apresentado em conferência promovida pelo Federal Reserve Bank of Dallas, Abril, Dallas, Texas.

DUTRÉNIT, G.; VITE-LEÓN, N.; CASAS, R.; OROZCO, J.; LÓPEZ, A.; SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. (2007) Interactions between universities and firms: searching paths to support the changing role of universities in the South. A research proposal for RoKS-IDRC. Belo Horizonte: Cedeplar-UFMG.

EAA. A EMBRAER e as Perspectivas para o Futuro. EAA – Engenharia Automotiva e Aeroespacial, n. 26, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/embraer/ea.htm>. Acesso em: 2007

EADS ASTRIUM. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.eads.com/1024/en/businet/astrium/astrium.html>. Acesso em 2008.

EADS. *Annual Report, 2007*.

EFE. Embraer quer construir avião de transporte militar. Rio de Janeiro: EFE, 19 abr. 2007.

EICHENGREEN, B. (2008) *Globalizing capital: a history of the international monetary system*. Princeton: Princeton University Press, 2nd edition.

ELEB. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.eleb.net/>. Acesso em 2008.

ELIASSON, G. & ELIASSON, A. (1996), *The Biotechnology Block of Competences*. *Revue de Economie Industrielle*, V.2. Eliasson, G. (2002). *The Theory of the Firm and the Markets for Strategic Acquisitions*. Artigo apresentado na 9a. Schumpeter Conference, Gainesville, US (29-30 de Março).

EMBRAER. Projeto NM – Memorando Descritivo da Operação, 2006.

EMBRAER. Relatório Anual, 2007.

ENAEX – ENCONTRO NACIONAL DE COMÉRCIO EXTERIOR. Informações Gerais. Disponível em: <http://www.enaex.com.br/premio.asp>. Acesso em 2008.

EQUATORIAL SISTEMAS. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.equatorialsistemas.com.br/>. Acesso em 2008.

ERNEST&YOUNG (2007). *Beyond Borders. Global Biotechnology Report*.

ERNEST&YOUNG (2006). *Beyond Borders; the Global Biotechnology Report*.

ERNEST&YOUNG (2008). *The Ernest&Young Strategic Business Risk Radar*.

ESA – EUROPEAN SPACE AGENCY. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.esa.int/esaCP/index.html>. Acesso em 2008.

ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA. Ministério da Defesa, 2008. Disponível em: https://www.defesa.gov.br/eventos_temporarios/2008/estrategia_defesa_nacional.pdf. Acesso em 2008.

EUN, J-H; LEE, K.; WU, G. (2006) *Explaining the university-run-enterprises in China: a theoretical framework for university-industry relationship in developing countries and its application to China*. *Research Policy*, v. 35 (9), 1329-1346.

EVCA Tax & Legal Committee Paper (2004). *Private Equity and Venture Capital Incentives in Europe*. European Private Equity & Venture Capital Association

FAJNZYLBER, PABLO (2002) "Fatores de competitividade e barreiras ao crescimento no polo de biotecnologia de Belo Horizonte". CEPAL, *Serie Desarrollo Productivo*, N° 124. Santiago de Chile.

FERREIRA, M. J. B. *Estudo Setorial sobre a Indústria Aeronáutica*. In: *Uma Agenda de Competitividade para a Indústria Paulista*. São Paulo: UNESP/UNICAMP/USP/SD-SP, 2008.a. Mimeo.

FERREIRA, M. J. B. *Indústria Aeronáutica. Relatório de Acompanhamento Setorial ABDI/NEIT-IE-UNICAMP*, Brasília, v.1, mar. 2008.b.

FERREIRA, M. J. B. *Indústria Aeronáutica. Relatório de Acompanhamento Setorial ABDI/NEIT-IE-UNICAMP*, Brasília, v.2, out. 2008.c.

FINMECCANICA. *Annual Report*, 2007.

FLAP INTERNATIONAL. *Aviação Militar na América Latina*. *Revista Flap*, n. 430, São Paulo, jul. 2008.

FONSECA, M. G. D e DELGADO, V. (2006). *Biotechnology in Developed and Developing Countries: similarities and differences in entrepreneurship and funding*. Artigo apresentado na International J. A. Schumpeter Society, 11th ISS Conference, Sophia-Antipolis, 21-24 June, 2006.

FONSECA, M. G. D. (2006) *Padrões de Financiamento aos Empreendimentos de Base Biotecnológica: um estudo para definição de instrumentos de apoio empresarial e financeiro no Brasil*. Relatório de Pesquisa Apresentado ao Fórum de Biotecnologia CGEE – Brasília, Setembro 2006.

- FONSECA, M. G. D. e ÁVILA, J. (2004). Financiando Empresas de Biotecnologia: uma análise preliminar. CGEE, Brasília (dezembro).
- FONSECA, M. G. D. et al. (2005). Inovações na Indústria Farmacêutica. Uma Análise sobre o Papel das Patentes na Competitividade das Empresas de Medicamentos. Conferência Internacional da ALTEC, 2005 (1-17)
- FONSECA, M. G. D.; Dal Poz, E. e SILVEIRA, J. M. J. (2005). Biotecnologia Vegetal e Produtos Afins: sementes, mudas e inoculantes in Silveira et al. (org.) Biotecnologia e Recursos Genéticos– Desafios e Oportunidades para o Brasil, Unicamp IE-FINEP, 2004.
- FREEMAN, C. and SOETE, L. (1997) *The Economics of Industrial Innovation*. Third Edition. First Published by Penguin Books, 1974. London, Pinter.
- FREEMAN, C.; LOUÇÃ, F. (2001) *As time goes by: from the industrial revolutions and to the information revolution*. Oxford: Oxford University.
- FUCK, M. P. (2005) *Funções Públicas e Arranjos Institucionais: o papel da EMPRABA na Organização da Pesquisa de Soja e Milho Híbrido no Brasil*, I.GEOC, UNIVAMP, Campinas.
- FUENTES, A., E. Wurzel and M. Morgan (2004). OECD Economics Department Working Papers. No. 407, OECD Publishing.
- GE. Annual Report, 2007
- GENERAL DYNAMICS. Annual Report, 2007.
- GERSCHENKRON, A. (1962) *Economic backwardness in historical perspective*. Cambridge: Harvard University.
- GIESECKE, S (2000). The Contrasting Roles of Government in the Development of Biotechnology Industry in US and Germany. *Research Policy* 29 (205-223), Elsevier.
- GODOY, R. Avibras renasce com contrato de exportação de R\$ 500 milhões. São Paulo: O Estado de São Paulo, 12 set. 2008.
- GODOY, R. Brasil precisa de mais satélites para reforçar controle aéreo, diz oficial da FAB. São Paulo: O Estado de São Paulo, 23 out. 2007.
- GOLDEMBERG, JOSÉ; LUCON, OSWALDO. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 21, n. 59, 2007.
- GOMPERS, P. A.; LERNER, J. (2001) *The money of invention: how venture capital creates new wealth*. Boston: Harvard Business School Press.
- GOVERNO FEDERAL (2007). *Política de Desenvolvimento da Biotecnologia*.
- GOVERNO FEDERAL (2008). *Política de Desenvolvimento Produtivo*.
- GRILICHES, Z.(2001). The Search for R&D Spillovers, *Scandinavian Journal of Economics*, No.94.
- GUAN, J., MA, N., 2007. China's emerging presence in nanoscience and nanotechnology. A comparative bibliometric study of several nanoscience 'giants'. *Research Policy* 36, 880-886.
- HAL – HINDUSTAN AERONAUTICS LIMITED. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.hal-india.com/>. Acesso em 2008.
- HELIBRAS – HELICÓPTEROS DO BRASIL S.A. Disponível em: <http://www.helibras.com.br/>. Acesso em 2008.
- HELPMAN, E. (1998) *General purpose technologies*. Stanford: Stanford University.
- H-IIA. Informações Gerais. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/H-IIA>. Acesso em 2008.

Hill, C. W. L., ROTHARMEL, F. T., 2003. The performance of incumbent firms in the face of radical technological innovation. *Academy of Management Review* 28 (2), 257–274.

HITE, J.M., HESTERLY, W.S., 2001. The evolution of Firm networks: from emergence to early growth of the firm. *Strategic Management Journal* 22 (3), 275–286.

HOLIHAN, PETER. Technology, Manufacturing, and Market Trends in the U.S. and International Photovoltaics Industry. Energy Information Administration: Official Energy Statistics from the U.S. Government (http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/rea_issues/fig1s.html). Acessado em junho de 2008.

HOU, C; GU, S. National Systems supporting technical advance in industry: the case of Taiwan. In: NELSON, R. (ed). *National innovation systems: a comparative analysis*. New York, Oxford: Oxford University, 1993, p. 76-114.

IAE – INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.iae.cta.br/>. Acesso em 2008.

IEA Photovoltaic Power Systems Programme. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/>. Acesso em: 05 nov. 2008.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em 2008.

ISA – INVEST IN SWEDEN AGENCY. The Aerospace Industry – an Integral Part of Innovative Sweden. Stockholm: ISA – Ministry of Industry, Employment and Communications, 2005.

ISI WEB OF KNOWLEDGE. Disponível em: <http://www.isiknowledge.com>. Acesso em: 03 nov. 2008.

ISRO – INDIAN SPACE RESEARCH ORGANISATION. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.isro.org/>. Acesso em 2008.

ISS – INTERNATIONAL SPACE STATION. Informações Institucionais. Disponível em: http://www.shuttlepresskit.com/ISS_OVR/index.htm. Acesso em 2008.

JANNUZZI, GILBERTO DE MARTINO. Uma Avaliação das Atividades Recentes de P&D em Energia Renovável no Brasil e Reflexões para o Futuro. Campinas, SP: Energy Discussion Paper, nº 2.64-01/03, Jul. 2003.

JAVANOVIC, B.; ROUSSEAU, P. L. (2005) General purpose technologies. Cambridge, Mass.: NBER (Working Paper 11093) (disponível em www.nber.org/papers/w11093)

JAXA – JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY. Informações Institucionais. Disponível em: http://www.jaxa.jp/about/index_e.html. Acesso em 2008.

JONG, S., 2006. How organizational structures in science shape spin-off firms: the biochemistry departments of Berkeley, Stanford, and UCSF and the birth of the biotech industry. *Industrial and Corporate Change* 15 (2), 251–283.

JÚDICE, V. & VEDOVELLO, C.(2007). Biotechnology innovation system in Brazil: an exploratory study. *Research Paper* 13/07.

BRICS, REDESIST, IE, UFRJ. Rio de Janeiro.

KAI. Annual Report, 2007.

KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES. Annual Report, 2007.

KIM, L. (1997) *Da imitação à inovação: a dinâmica do aprendizado tecnológico da Coreia*. Campinas: Editora da Unicamp (2005).

KLEVORICK, A.; LEVIN, R.; NELSON, R.; WINTER, S (1995). On the sources and significance of inter-industry differences in technological opportunities. *Research Policy*, v. 24, p. 185-205.

KOELLER, P. (2007). O papel do Estado e a Política de Inovação. Projeto BRICS, Research paper 02/07, REDESIST-IE-UFRJ.

KOSTOFF, R. N., STUMP, J. A., JOHNSON, D., MURDAY, J. S., LAU, C. G. Y., TOLLES, W.M., 2006b. The structure and infrastruc-

ture of the global nanotechnology literature. *Journal of Nanoparticle Research* 8 (3–4), 301–321.

KOSTOFF, R., MURDAY, J., LAU, C.G., TOLLES, W.M., 2006a. The seminal literature of nanotechnology research. *Journal of Nanoparticle Research* 8 (2), 193–213.

KUHN, T. S., 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago.

LAZONICK, W. (2005). *Evolution of the New Economy Business Model*. Instituto de Economia Workshops in The Economics of Internet, Cambridge University Press.

LEE, K. (2009) Promoting effective modes of university–industry interactions and their evolution for economic catch up in Asia. A Research Report for IDRC. Seoul: East Asia Institute.

Lei N° 10.973 (2004). Lei de Inovação.

Lei N° 11.105 (2005). Lei de Biossegurança.

Lei N° 11.196 (2005). Lei do Bem.

Lei N° 8.661 (1993) http://ftp.mct.gov.br/legis/leis/8661_93.htm.

LEMOS, M. B. (2006) *Holding dos trabalhadores: o financiamento do desenvolvimento*. Rio de Janeiro: BNDES (Apresentação).

LEMOS, M. B.; NEGRI, J. A.; RIBEIRO, L. C.; RUIZ, R. M.; ALBUQUERQUE, E. (2009) *Fundos Setoriais e Sistema Nacional de Inovação: uma avaliação exploratória*. Belo Horizonte/Brasília: Cedeplar-UFMG/IPEA (Relatório de Pesquisa).

LIOLIOS et al. (2007) The Genome On Line Database in 2007: status of genomic and metagenomic projects. *NAR*, 2008 Vol 36 (published online)

LIPSEY, R.; BEKAR, C.; CARLAW, K. (1998) What requires explanation? In: HELPMAN, E. *General purpose technologies*. Stanford: Stanford University.

LOCKHEED MARTIN CORP. Annual Report, 2007.

LOPES, R. *Rede de Intrigas: Os Bastidores do Fracasso da Indústria Bélica no Brasil*. Rio de Janeiro, Ed. Record, 1994.

MAA-1B. Informações Técnicas. Disponível em: <http://www.aereo.jor.br/?p=1680>. Acesso em 2008.

MAIA, P. A *Modernização das Forças Armadas*. Tecnologia & Defesa, n. 114, São Paulo, 2008.

MARQUES, FRANCISCO. Confronto entre os aspectos ambientais e econômicos da energia solar com a matriz energética brasileira. Belo Horizonte: Workshop em Prospecção Tecnológica – Energia Solar, 2008. 63 slides: color.

MARTINS, P. R. (Coordenador) (2007) *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal*. São Paulo, Xamã.

MARTRE, H. A indústria aeroespacial – Análises e reflexões. Outubro de 2001. Disponível em: <http://www.france.org.br/abr/imagesdelafrance/aeroespacial.htm>. Acesso em: 2007.

MCKELVEY, M.; ORSENIGO, L. & PAMMOLLI, F. (2005). *Pharmaceuticals Analysed through the Lens of a Sectoral Innovation System in Malerba*, F. (ed.), *Sectoral Systems of Innovation*, Cambridge University Press, Cambridge, (11–42).

MCT (1997) *Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional, Plano de Ação 2007–2010*. Brasília.

MECTRON. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.mectron.com.br/>. Acesso em 2008.

MILESKI, A.M. Centro Espacial de Alcântara tem apoio de parlamentares. *Panorama Espacial*, 7 mai. 2008. Disponível em: <http://panoramaespacial.blogspot.com/2008/05/alcantara-cyclone-space.html>. Acesso em 2008.a.

MILESKI, A.M. Consórcio brasileiro disputa negócios na área espacial. Atualizada, 24 jul. 2006. Disponível em: http://www.defesanet.com.br/space/brasil_espaco.htm. Acesso em 2008.

MILESKI, A.M. *Panorama Espacial*. Tecnologia & Defesa, n. 110, São Paulo, 2007.

MILESKI, A.M. *Panorama Espacial*. Tecnologia & Defesa, n. 114, São Paulo, 2008.b.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2002d). *Livro Branco. Ciência, Tecnologia e Inovação*. MCT, Brasília.

- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2002a). Diretrizes do Fundo Setorial de Biotecnologia.
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2002b). Mapa de Conhecimento sobre Tendências Internacionais e Competências Nacionais em Doenças Infecto-Contagiosas e Doenças Negligenciadas. Fundo Setorial de Saúde.
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2002c). Diretrizes do Fundo Setorial de Agronegócio.
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2007). Plano de Ação 2007-2010 da Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento.
- MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC) (2003) Diretrizes de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior.
- MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES. Annual Report, 2007.
- MONSERRAT FILHO, J. A trágica lição de Alcântara. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, vol.33, n.198, p.38-41, out. 2003.
- MONTEIRO, T; NOGUEIRA, R. Programa F-X2 Em vez de comprar, FAB vai construir caça. *São Paulo: O Estado de São Paulo*, 18 mai. 2008.
- MONTEIRO, V. CAMEX aprova venda de mísseis. *São Paulo: Gazeta Mercantil*, 3 dez. 2008.
- MOREIRA, A. Concorrência vem da Rússia, China, Japão e até da Boeing. *São Paulo: Valor Econômico*, 19 dez. 2006.
- MUSTAR, P., RENAULT, M., COLOMBO, M.G., PIVA, E., FONTES, M., LOCKETT, A., WRIGHT, M., CLARYSSE, B., MORAY, N., 2006. Conceptualizing the heterogeneity of research-based spin-offs: a multi-dimensional taxonomy. *Research Policy* 35 (2), 289-308.
- NAKAMURA, P. Embraer define preços de novos jatos. *São Paulo: Valor Econômico*, 21 mai. 2008.
- Nano-Initiative – Action Plan 2010 – Federal Ministry of Education and Research. Berlin: VDI Technologiezentrum GmbH, 2007.
- NARIN, F.; HAMILTON, K. S.; OLIVASTRO, D. (1997) The increasing linkage between U.S. technology and public science. *Research Policy*, v. 26, n. 3, pp. 317-330.
- NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.nasa.gov/>. Acesso em 2008.
- NATIONAL SCIENCE BOARD (2002) Science and Engineering Indicators 2002 (<http://www.nsf.gov/statistics/seind02/>)
- NEIVA. Informações Gerais. Disponível em: <http://www.aeroneiva.com.br/site/content/home/default.asp>. Acesso em 2008.
- NORTHROP GRUMMAN. Annual Report, 2007.
- OBORONPROM - UNITED INDUSTRIAL CORP. Informações Gerais. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Oboronprom>. Acesso em 2008.
- OBSERVATOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES (2006). Science & Technologie: indicateurs 2006. Paris: Economica (<http://www.obs-ost.fr/le-savoir-faire/etudes-en-ligne/etudes-2006/rapport-2006.html>).
- OBSERVATOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES (OST). Indicateurs de sciences et de technologies, 2004. Disponível em:
- OECD (1996a). Government and Technical Innovation. OECD, Paris. Schertler.
- OECD (2003). Turning Science in Business, Paris.
- OECD (2005). A Framework for Biotechnology Statistics.
- OECD (2006a). Innovation in Pharmaceutical Biotechnology. OECD, 2006.
- OECD. Science, Technology and Industrial Outlook, 2008.

- OLMOS, M. EADS busca fornecedores brasileiros. São Paulo: Valor Econômico, 21 out. 2008.b.
- OMNISYS. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.omnisis.com.br/>. Acesso em 2008.
- OPTO ELETRÔNICA. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.opto.com.br/>. Acesso em 2008.
- ORBISAT. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.orbisat.com.br/>. Acesso em 2008.
- ORTEGA, I. Rússia apresenta 'superjato' de passageiros, o 1º de nova geração após a URSS. Moscou: EFE, 26 set. 2007.
- OSSE, J.S. Brasil fecha acordo com a EADS que prevê investimento de 350 milhões de euros na Helibras. São Paulo: Valor Econômico, 30 jun. 2008.a.
- OSSE, J.S. Unidade na Flórida é decisão estratégica e não de custos, diz Embraer. São Paulo: Valor Econômico, 31 jul. 2008.b.
- PACHECO, C. P. (2007). As reformas da política nacional de ciência, tecnologia e inovação no Brasil (1999-2002). Manual de Políticas Públicas. CEPAL-GTZ. Santiago de Chile.
- PAVITT, K. (1984) Sectoral patterns of technical change. *Research Policy*, n. 13, p. 343-373,1984.
- PEREIRA, ELIZABETH MARQUES DUARTE. Aquecimento solar e a cidade. Belo Horizonte: Workshop em Prospecção Tecnológica – Energia Solar, 2008. 27 slides: color.
- PEREIRA, G. R. Trajetórias das Atividades Espaciais no Brasil: entre o Nacionalismo e o Patrimonialismo. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – DPCT/IG/UNICAMP, Campinas, 2008.
- PICKSTONE, J. V., 2001. *Ways of Knowing: A New History of Science, Technology, and Medicine*. University of Chicago Press, Chicago.
- PIMENTA, V. Exército encomenda lote piloto do MSS 1.2. Diário Oficial da União, 4 nov. 2008. Disponível em: <http://defesa-brasil.com/site/index.php/Noticias/Exercito/Exercito-encomenda-lote-piloto-do-MSS-1.2.html>. Acesso em 2008.
- PINHEIRO, A. S. A revolução na tecnologia da Informação: Reflexos nos sistemas de Comando e Controle. *Tecnologia & Defesa*, n. 111, São Paulo, 2007.
- PISANO, G. (2006) *Science business: the promise, the reality and the future of biotech*. Boston: Harvard Business School Press.
- PNAE - PROGRAMA NACIONAL DE ATIVIDADES ESPACIAIS 2005-2014. Brasília: AEB, 2005. Disponível em: http://www.aeb.gov.br/area/download/pnae_web.pdf. Acesso em 2008.
- POWELL, W. W., KOPUT, K. W., BOWIE, J. I., SMITH-DOERR, L., 2002. A spatial clustering of science and capital: accounting for biotech firm-venture capital relationships. *Regional Studies* 36 (3), 291-305.
- PRZEMIENIECKI, J. S. *Critical Technologies for National Defense*. Washington D.C.: AIAA Education Series, 1991.
- RAPINI, M. et al (2009) Oportunidades ao desenvolvimento sócio-econômico e desafios da ciência, da tecnologia e da inovação em Minas Gerais: indicadores de ciência e tecnologia para Minas Gerais. Relatório de Pesquisa, Convênio SEC
- TES-FAPEMIG/Cedeplar.UFMG. Belo Horizonte: Cedeplar-UFMG.
- RAPINI, M. S.; CHAVES, C. V.; ALBUQUERQUE, E. M.; CARVALHO, S. S. M.; RIGHI, H. M.; OLIVEIRA, V. C. P.; SILVA, L. A.; CRUZ, W. M. S. A Interação entre Empresas Industriais e Universidades em Minas Gerais: investigando uma dimensão estratégica do sistema estadual de inovação. Belo Horizonte. Mimeo, 2008.
- RAYTHEON. Annual Report, 2007.
- RIBEIRO, L. C. ; RUIZ, R. M. ; BERNARDES, A. T. ; ALBUQUERQUE, E. (2009) Matrices of science and technology interactions and patterns of structured growth: implications for development. *Scientometrics* (aceito para publicação).
- RIBEIRO, L. C.; ALBUQUERQUE, E.; FRANCO, L. M.; MOURA, I. A. (2009) The scientific and technological trajectories of four Latin American countries: Mexico, Costa Rica, Argentina and Brazil. Belo Horizonte: Cedeplar-UFMG (manuscript prepared for the Latin American Workshop on interactions between universities and firms).
- RIBEIRO, L. C.; RUIZ, R. M.; BERNARDES, A. T.; ALBUQUERQUE, E. M. (2006). *Science in the developing world: running*

- twice as fast? *Computing in Science and Engineering*, v. 8, pp. 81–87, July.
- RITTNER, D. FAB pretende fechar compra de caças no segundo semestre de 2009. São Paulo: Valor Econômico, 6 nov. 2008.
- ROBINSON, D.K.R., RIP, A., MANGEMATIN, V., 2007. Technological agglomeration and the emergence of clusters and networks in nanotechnology. *Research Policy* 36, 871–879.
- ROLLS-ROYCE. Annual Report, 2007.
- ROSA, LUIZ PINGUELLI. Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 21, n. 59, 2007.
- ROSKOSMOS. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.roscosmos.ru/index.asp?Lang=ENG>. Acesso em 2008.
- ROTHAERMEL, F.T., THURSBY, M., 2005. University-incubator firm knowledge flows: assessing their impact on incubator firm performance. *Research Policy* 34 (3), 305.
- ROTHAERMEL, F.T., THURSBY, M., 2007. The nanotech vs. the biotech revolution, sources of productivity in incumbent firm research. *Research Policy* 36, 832–849.
- SAAB. Annual Report, 2007.
- SABBATINI, R.C. (Coord.); FERREIRA, M.J.B.; SARTI, F.; RUAS, J.A.; XAVIER, C. Benchmarks e melhores práticas da cadeia de suprimentos em indústrias selecionadas: lições para a construção naval no Brasil. In: *Implantação e Consolidação de Laboratório de Gestão de Operações e da Cadeia de Suprimento da Indústria de Construção Naval*. São Paulo: USP/UNICAMP/UFP/IPT, 2007. Mimeo.
- SALLES FILHO, S.(coord.) (2000). *Ciência, Tecnologia e Inovação A reorganização da pesquisa pública no Brasil*. UNICAMP, KOMEDI, CAPES, Campinas.
- SALLES-FILHO,S.; BONACELLI, M.A.&MELLO, D. L. (2001).Instrumentos de apoio à definição de políticas em biotecnologia. *Estudos em Biotecnologia*. MCT/FINEP. Campinas.
- SANTOS, C. Santos-Lab vai ampliar produção de avião-espião. São Paulo: Valor Econômico, 25 set. 2008.
- SCHIERMEIER, Q.; TOLLEFSON, J.;SCULLY, T, et al. Electricity without carbon. *Nature*, London, v. 454, n. 7206, p. 816-823, Aug.14, 2008.
- SCHUMPETER, J. A (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*.Ed Zahar,1984.
- SEGURANÇA & DEFESA. Brasil e França assinam contrato de produção de 50 EC725. Disponível em: http://www.segurancaedefesa.com/EC725_Contrato.html. Acesso em 2008.
- SHARP, M. E PATEL, P. (1990).Europe Pharmaceutical ndustry: an innovation profile. Draft Report prepared to DG XIII-D4 University of Sussex,UK.
- SHERER, F(2000). Pharmaceutical Industry in Culyer and Newhouse(2000) *Handbook of Health Economics* (1297-1332).
- SICSU, J. ALBUQUERQUE, E. (1998) Financiamento do investimento em P&D, risco e seguro: uma abordagem não-conventional. *Revista Brasileira de Economia*, v. 52, n. 4, pp. 675–96.
- SILVEIRA et al.(org.) *Biotecnologia e Recursos Genéticos– Desafios e Oportunidades para o Brasil*, Unicamp IE-FINEP, 2004.
- SILVEIRA, J. M. e Borges, I. C. (2006). *Brazil: rising to challenges of global competition and protecting diversity* (mimeo).
- SILVEIRA, J. M., BORGES, I & FONSECA (2007). *Biotecnologia e Desenvolvimento de Mercados:novos desafios e novos conceitos* in Ramos, P(2007) *Dimensões do Agronegócio Brasileiro*.
- SILVEIRA, J. M.; FONSECA, M. G.(2007). *Biotecnologia e Desenvolvimento de Mercados: novos desafios, novos conceitos*. Escola de Economia da EESP-FGV.
- SILVEIRA, V. Projeto Cruzeiro do Sul é o marco de uma nova fase. São Paulo: *Gazeta Mercantil*, 26 out. 2005.

SIMÕES, J. Programa Subvenção Econômica: Finep divulga lista de 174 projetos aprovados em edital; conheça três deles: os da Positivo, da Opto e da Orbisat. *Inovação UNICAMP*, 3 dez. 2007. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/report/noticias/index.php?cod=202>. Acesso em 2008.

SIMÕES, J. Satélite Sino-Brasileiro: EUA impõem restrições à compra de componentes para o CBERS. *Inovação UNICAMP*, 28 jul. 2008. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/report/noticias/index.php?cod=319>. Acesso em 2008.

SIVAM – SISTEMA DE VIGILÂNCIA DA AMAZÔNIA. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.sivam.gov.br/>. Acesso em 2008.

SOLAR AMERICA INITIATIVE (SAI). A plan for the Integrated Research, Development, and Market Transformation of Solar Technologies. Draft: February 5, 2007. Disponível em: http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_america/pdfs/sai_draft_plan_Feb5_07.pdf

SOLAR AMERICA INITIATIVE (SAI). <http://www1.eere.energy.gov/solar>

SORIANO, EDUARDO. Aspectos da Pesquisa em Energia no Brasil. Foco: Solar Fotovoltaica. Belo Horizonte: Workshop em Prospecção Tecnológica – Energia Solar, 2008. 66 slides: color.

SOSKICE, D.(1997). German Technology Policy, Innovation and National Institutional Frameworks, *Industry and Innovation*, No4.

STARSEM. Informações Institucionais. Disponível em: <http://www.starsem.com/>. Acesso em 2008.

STEPHAN, P., BLACK, G. C., CHANG, T., 2007. The small size of the small scale market: the early-stage labor market for highly skilled nanotechnology workers. *Research Policy* 36, 887–892.

SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. (2008) A interação entre universidades e empresas em perspectiva histórica no Brasil. Belo Horizonte: Cedeplar-UFMG (TD 329, http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD_329.pdf)

SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. (2009) The underestimated role of universities for development: notes on historical roots of Brazilian system of innovation. In: *XVth World Economic History Congress*. Utrecht: International Economic History Association (disponível em <http://www.wehc2009.org/programme.asp?find=suzigan#>).

SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. (2009) The underestimated role of universities for development: notes on historical roots of Brazilian system of innovation. In: *XVth World Economic History Congress*. Utrecht: International Economic History Association (disponível em <http://www.wehc2009.org/programme.asp?find=suzigan#>).

SUZIGAN, W.; RAPINI, M.; ALBUQUERQUE, E. (2009) A changing role for universities in the periphery: notes about a tri-continental research project. (Manuscript presented in the session "What are the key conclusions?", International Workshop on interactions between universities and firms – a RoKS-IDRC project). Cape Town: HSRC.

SUZIGAN, W.; RAPINI, M.; ALBUQUERQUE, E. (2009) A changing role for universities in the periphery: notes about a tri-continental research project. (Manuscript presented in the session "What are the key conclusions?", International Workshop on interactions between universities and firms – a RoKS-IDRC project). Cape Town: HSRC.

TCSIC-The Colin Sanders Innovation Centre(2006) Europa Bio. Biotechnology in Europe:2006. Critical One,Comparative study.

TECNOLOGIA & DEFESA. Em conjunto com a FAB: Entrevista com Luiz Carlos Siqueira Aguiar, vice-presidente para o Mercado de Defesa e Governo da Embraer. *Tecnologia & Defesa*, n. 115, São Paulo, 2008.

TECNOLOGIA & DEFESA. O futuro da FAB está sendo planejado em conjunto com a sociedade brasileira: O comandante da Aeronáutica fala à T&D. *Tecnologia & Defesa*, n. 115, São Paulo, 2008.

TECNOLOGIA & DEFESA. Um debate nacional a respeito da Defesa: O ministro Mangabeira Unger fala à T&D. *Tecnologia & Defesa*, n. 114, São Paulo, 2008.

TEITELMAN, R. (1989). *Gene Dreams. Wall Street, Academia and the Rise of Biotechnology*. Harper Collins's Basic Books, The Library of Congress.

TEIXEIRA, M. Omnisys Engenharia: Desenvolvimento de radar meteorológico financiado pelo PIPE deu credibilidade à Omnisys, comprada em 2006 pela Thales. *Inovação UNICAMP*, 2 mai. 2006. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-pipeomnisys.shtml>. Acesso em 2008.

TEIXEIRA, M. Omnisys, ex-pequena que inova: Contrato com governo, subvenção da Finep e competência nascida de apoio da Fapesp fazem da Omnisys exportadora de radares de rota. *Inovação UNICAMP*, 26 mar. 2007. Disponível em:

<http://www.inovacao.unicamp.br/report/noticias/index.php?cod=52>. Acesso em 2008.

TEXTRON CO. Annual Report, 2007.

THALES. Annual Report, 2007.

THE BOEING CO. Annual Report, 2007.

THE ECONOMIST (January, 2009). Getting Personal. The Promise of Cheap Genome Sequencing.

THE ECONOMIST (November 25th, 2004). The New Kings of Capitalism.

THE NANOTECHNOLOGY OPPORTUNITY REPORT. Third Edition. Cientifica, 2008.

THE NATIONAL INITIATIVE (2008 b) Big Things from a Tiny World. Executive Office of The President of The United States, Washington, D. C., 2009.

THE NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. (2008 a) Research and Development Leading to a revolution in Technology and Industry. Supplement to the President's FY 2009 Budget. Executive Office of The President of The United States, Washington, D. C., 2008.

THE NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. Executive Office of The President of The United States, Washington, D. C., 2008.

THOMPSON FINANCIAL (2008) MoneyTree™ Report. Pricewaterhouse Coopers NVCA

TIJSEN, R. (2004) Measuring and evaluating science-technology connections and interactions. In: MOED, H.; GLÄNZEL, W.; SCHMOCH, U. (eds). Handbook of quantitative science and technology research: the use of publication and patent statistics in studies of S&T systems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 695-715.

TIJSEN, R. J.; BUTER, R. K.; van LEEUWEN, N. (2000) Technological relevance of science: an assessment of citation linkages between patents and research papers. *Scientometrics*, v. 47, n. 2, pp. 389-412.

TPC – TECHNOLOGY PARTNERSHIPS CANADA. Informações Institucionais. Disponível em: <http://tpc.ic.gc.ca/>. Acesso em 2008.

TREVISAN, C. Embraer só perde para Boeing e Airbus em jatos comerciais. São Paulo: Folha de São Paulo, 3 dez. 2006.

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE (2003). A Survey of the Use of Biotechnology in U.S. Industry, October. Bureau of Industry and Scurity.

UABC – UNITED AIRCRAFT BUILDING CORP. Informações Gerais. Disponível em: <http://www.minprom.gov.ru/eng/press/news/165/print>. Acesso em 2008.

UCHÔA, N. et al. (2008) A Proteção das Invenções Biotecnológicas: será que a lei de patentes pode ser alterada? *Revista ABPI* no.93, Mar-Abr.

UNITED TECHNOLOGIES CORP. Annual Report, 2007.

UTTERBACK, J.M. Dominando a Dinâmica da Inovação. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1996.

UTTERBACK, J.M., Suarez, F.F., 1993. Innovation, competition, and industry structure. *Research Policy* 22, 1-21.

VALOR ECONÔMICO. Concorrência que virá da China e Rússia. São Paulo: Valor Econômico, 15 dez. 2006.

VALOR ECONÔMICO. Divisão de defesa da Embraer concentra esforços em nichos que já atua. São Paulo: Valor Econômico, 16 abr. 2007.

VALOR GRANDES GRUPOS. Valor Econômico, São Paulo, 2008.

VERBEEK, A.; CALLAERT, J.; ANDRIES, P.; DEBACKERE, K.; LUWEL, M.; VEUGELERS, R. (2002b) Science and technology interplay – a modelling approach on a regional level. Final Report to the EC DG Research, Brussels.

WADE, R. (1990) *Governing the market: economy theory and the role of government in East Asian industrialization*. Princeton: Princeton University.

YOUTIE, J. IACOPETA, M.; GRAHAM, S. (2008) Assessing the nature of nanotechnology: can we uncover an emerging general purpose technology? *Journal of Technology Transfer*, v. 33, pp. 315-329.

ZANESCO, Izete; MOEHLECKE, Adriano. *Energia Solar Fotovoltaica: Atividades, Desafios e Oportunidades*. Belo Horizonte: Workshop em Prospecção Tecnológica – Energia Solar, 2008. 37 slides: color.

ZHANG E PATEL (2004). *The Dynamics of California Biotechnology Industry*. Public Policy Institute of California.

ZUCKER, L.G., Darby, M., FURNER, J., Liu, R.C., Ma, H., 2007. Minerva unbound: Knowledge stocks, knowledge flows and new knowledge production. *Research Policy* 36, 850-863.

REALIZAÇÃO



Fundação Universitária
José Bonifácio

APOIO FINANCEIRO



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

