

PROJETO  
**PiB**  
Perspectivas do  
Investimento no  
Brasil



Sistema Produtivo

12

Perspectivas do Investimento em

**Ciência**

Instituto de Economia da UFRJ  
Instituto de Economia da UNICAMP

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

## 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** – Paul 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

Projeto financiado com recursos do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O conteúdo ou as opiniões registrados neste documento são de responsabilidade dos autores e de modo algum refletem qualquer posicionamento do Banco.

## REALIZAÇÃO



Fundação Universitária  
José Bonifácio

## APOIO FINANCEIRO



Ministério do  
Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior



**Documento Não Editorado**



**PROJETO PERSPECTIVAS DO INVESTIMENTO NO BRASIL**  
**BLOCO: ECONOMIA DO CONHECIMENTO**  
**SISTEMA PRODUTIVO: BASEADOS EM CIÊNCIA**  
**COORDENAÇÃO: EDUARDO ALBUQUERQUE**

**DOCUMENTO SETORIAL:**  
**NANOTECNOLOGIA**

Sonia Maria Dalcomuni (UFES)

Vitória, janeiro de 2009.

## Nota Técnica do Subsistema: Indústrias Baseadas em Ciência – Nanotecnologia

### Resumo

Esta Nota Técnica é parte integrante do Projeto PIB – Perspectivas do Investimento no Brasil e provê um panorama da dinâmica dos investimentos internacionais e nacionais em Nanotecnologia. Mostra que internacionalmente os investimentos em nanotecnologias crescem consistentemente, com o investimento privado superando significativamente os investimentos públicos e sendo primordialmente norteados por perspectivas de mercado, em contraposição à prospecção tecnológica que se consistia no principal norteador dos investimentos na área até recentemente. Ressalta que as grandes corporações transnacionais, em especial as da indústria química são as principais investidoras, depositantes de patentes e ofertantes de produtos de base nanotecnológica, a exemplo, do já concentrado mercado de nanomateriais. Em decorrência do alto conteúdo científico das nanotecnologias seu desenvolvimento requer investimentos em infra-estrutura de pesquisa, em capacitação de recursos humanos, e forte relação entre empresas e instituições de ensino e pesquisa; realçando, especialmente em sua fase inicial, a importância dos investimentos públicos para este fim. As projeções de mercado atingem a cifra de 1,5 trilhão de dólares em 2015. Enfatiza que o Brasil apresenta potencial de desenvolvimento tecnológico em decorrência da existência de redes e grupos de pesquisa em nanotecnologia. Entretanto alerta que estes grupos são pouco numerosos e esparsos e os investimentos, quase exclusivamente públicos providos pelo MCT-FINEP, são ínfimos quando comparados aos vultosos investimentos observados nos EUA, Europa e Japão. Adicionalmente no Brasil os investimentos têm sido norteados pela prospecção tecnológica, sem o suporte de estudos aprofundados em economia e negócios e sem a decisiva participação, *ex ante*, da iniciativa privada. Aponta “janelas de oportunidade” para os investimentos em nano no Brasil e finaliza argumentando que, especialmente neste contexto de crise, com os cortes de orçamento previstos para a área de C&T, o BNDES tem importante papel a desempenhar, fornecendo crédito de fomento para as áreas que apresentam “janelas de oportunidade” na produção de produtos de base nanotecnológica: como instrumento de política anticíclica; propiciando o necessário envolvimento e participação das empresas privadas e; atuando na perspectiva de reversão do cenário previsto que é o de instauração de um significativo *gap* tecnológico e econômico entre o Brasil e países como EUA, países europeus, Japão, China e Índia mantidas as atuais dinâmicas dos investimentos em nanotecnologias no Brasil e internacionalmente.

Palavras-chave: Nanotecnologias, Inovação, investimentos, desenvolvimento econômico.

## SUMÁRIO

Introdução	4
I – Dinâmica Global do Investimento	19
II – Tendências do Investimento no Brasil	37
III – Perspectivas de Médio e Longo Prazos para os Investimentos	46
IV – Proposições de Políticas, Instrumentos e Estratégias para o Investimento	69
Referências	72

## Introdução

A emergência das nanotecnologias, ou seja, da busca de descobertas técnico-científicas ao nível do nanômetro<sup>1</sup>, 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.

Esse processo ressalta também os novos desafios à análise e ação referentes a adaptações e evoluções institucionais necessárias para preparar e impulsionar o desenvolvimento das tecnologias, em especial no que tange à estrutura de C & T e às políticas e ações necessárias a tal objetivo.

Segundo o '*National Nanotechnology Initiative*' (NNI)<sup>2</sup> 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. A figura 1 ilustra a dimensão em nanoescala.

### Figura 1 – Ilustrações da dimensão em nanoescala

---

<sup>1</sup> Nanômetro: 1 (Nm) corresponde a um bilionésimo de um metro. Dimensão 100.000 vezes menor que o diâmetro de um fio de cabelo.

<sup>2</sup> *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.



Fonte: NNI, (2008). Nanotechnology. Big things from a tiny world.

Na escala nano as propriedades físicas, químicas e biológicas dos materiais diferem de forma fundamental e significativa das propriedades dos átomos individuais e moléculas ou da matéria em maior escala. A redução à escala nanométrica altera as propriedades da matéria:

- a) **Propriedades Mecânicas** – Alguns materiais tornam-se mais resistentes e mais leves;



- b) **Propriedades Óticas** – Com a escolha seletiva do tamanho do nano objeto é possível o controle da luz. Diversas frequências permitem diferentes usos ( lasers e diodos)
- c) **Propriedades Magnéticas** – Podem mudar de acordo com o tamanho gerando potencial para usos diversos ( ex. Cabeçotes de leitura e gravadores de discos de computadores).

A Pesquisa e o Desenvolvimento (P&D) em nanotecnologia são direcionados para o entendimento e a criação de materiais, instrumentos e sistemas melhorados que exploram estas novas propriedades.

O Princípio Geral que tem sido apontado pelos pesquisadores para o desenvolvimento das Nanotecnologias é a imitação de processos naturais, por exemplo:

- a) Imitou-se a nanoestrutura da folha de lótus para a criação de superfícies hidrofóbicas que tem sido usadas em tecidos e outros materiais.
- b) Busca-se imitar a resistência e a flexibilidade da teia de aranha a qual é naturalmente reforçada por cristais em nanoescala.
- c) Grande parte dos processos biológicos em nossos organismos ocorre em nanoescala. As estruturas e o funcionamento destes processos têm sido observados nas pesquisas em nano.

Tem sido apontado que os desenvolvimentos em nanociência e nanotecnologia têm o potencial para revolucionar muitos setores da indústria, especialmente através de sua convergência com as Biotecnologias, as Tecnologias de Informação e Comunicação e as Ciências Cognitivas – **(NBICs)**. Esta interpretação vislumbra tal convergência como um novo paradigma tecnológico que está emergindo a partir do Paradigma da TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação) em curso desde os anos 1980-90. (Dalcomuni, 2005, dentre outros) Ainda no âmbito desta interpretação alguns autores têm usado o

acronismo “BANG”, implicando a interconectividade de, respectivamente: Bit, Átomo, Neurônio e Gene.

As Principais “Revoluções” previstas com os avanços na nanotecnologia, são:

- 1) Avanço na eficiência dos computadores;
- 2) Restauração de órgãos humanos (ex. pele artificial);
- 3) ‘Design’ de materiais criados diretamente da manipulação de átomos e moléculas, resultando em novos produtos nas áreas de novos materiais; Nanoeletrônica; Dispositivos de TI; Medicina e Saúde; Energia e Meio Ambiente; Biotecnologia e Agricultura; Segurança Nacional; Educação e Competitividade.

As expectativas em relação às nanotecnologias não se restringem à inovação industrial, mas também à criação de uma indústria genérica que poderá penetrar e transformar outras indústrias, daí seu caráter de vetor de mudança paradigmática.

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?

Bozeman, Laredo e Mangematin (2004) enfocaram várias das questões supra referidas em artigo sobre os debates e desafios relativos às nanotecnologias provendo um panorama abrangente sobre diferentes análises e expectativas do que denominaram de “presumivelmente revolucionário conjunto de desenvolvimentos, tecnológicos, científicos e industriais”.

Estes autores delinearão três linhas de argumentação através da análise de diversos autores sobre o assunto: a primeira delas, o grau de cumulatividade da ciência e da tecnologia e os respectivos papéis das empresas líderes e de “novas entrantes” na dinâmica industrial; a segunda, a dinâmica do conhecimento em nanotecnologia, especialmente as relações entre ciência e tecnologia e: a terceira o papel das instituições (redes de cooperação, aglomeração geográfica e mercado de trabalho). O conteúdo deste artigo sintetiza de forma importante questões chave para a discussão das nanotecnologias na perspectiva desta nota técnica, razão pela qual será reproduzido de forma comentada nos parágrafos que seguem.

Bozeman et al (2004), iniciam seu trabalho enfocando autores que entendem as nanotecnologias como potencialmente revolucionárias e promotoras da mudança do paradigma tecnológico das NBICS. A partir da visão de “destruição criativa”, autores com esta interpretação sobre as nanotecnologias argumentam que estas tecnologias redefinirão indústrias existentes, levando-as a novas combinações, a exemplo das tecnologias submicrônicas que estão mesclando indústrias da Informação e da Comunicação.

A abordagem sobre esse assunto especial, contribui para teorias da mudança tecnológica e industrial inspiradas pelos trabalhos de autores como Thomas Kuhn (1962), Freeman (1974), dentre vários outros, situados na denominada Teoria Evolucionária da Inovação.

Nesta mesma tradição teórica autores como Dosi (1982), Anderson e Tushman (1990) e Afuah e Utterback (1997) sugerem que tanto as condições cognitivas como a estrutura industrial que serve de base à geração deste conhecimento mudam em resposta à maturidade das tecnologias subjacentes.

Teóricos da abordagem 'ciclo de vida' identificaram duas fases principais as quais apresentam uma profunda coerência interna na forma como o conhecimento é produzido (Abernthy e Utterback, 1978), Tushman e Anderson (1986), Utterback e Suarez (1993). A primeira fase é caracterizada por rápida mudança técnica enquanto a segunda fase organiza a consolidação tecnológica em torno do desenho dominante (Anderson e Tushman, 1990).

A primeira fase se inicia com a introdução de uma invenção radicalmente nova a qual se acredita ser superior à tecnologia existente em termos de custos de produção, serviços produtivos e oportunidades de mercado.

Portanto, longe de prover um conjunto de soluções estáveis e economicamente superiores, a exploração da nova tecnologia requer mais exploração: hipóteses científicas e tecnológicas têm que ser testadas, contrapondo-se umas às outras.

Assim, uma vez que a exploração de hipóteses ou trajetórias de tecnologias que competem entre si se dá num ambiente turbulento, onde ocorre a introdução de novas soluções técnicas, amplifica-se a incerteza ao invés de mitigá-la.

O desenvolvimento de tecnologias radicalmente novas gera novas empresas, tanto em indústrias pré-existentes quanto em novas indústrias. Estas novas firmas baseiam-se em suas habilidades técnico-distintivas e podem ser vistas como projetos de pesquisa independentes explorando oportunidades tecnológicas.

Hite e Hesterly (2001) ressaltam que durante os estágios iniciais de uma nova indústria, 'start-ups' enfrentam grande incerteza sobre a eficiência de suas

frágeis rotinas e produtos e como os mesmos podem se ‘encaixar’ no ambiente no qual se inserem.

As atividades científicas se mantêm na fronteira do conhecimento; o conhecimento produzido incorpora uma grande proporção de caráter tácito e permanece incorporado naqueles que o produzem. Conseqüentemente a circulação do conhecimento se iguala à circulação dos próprios engenheiros (Almeida e Kogut, 1999; Bozeman e Mangematin, 2004).

Este fenômeno não nega o fato de que empresas líderes podem igualmente investir em novas tecnologias. Entretanto, como repetidamente enfatizado a aquisição tecnológica está longe de ser imediata e gratuita. Recentemente, especialmente após 1980, desenvolvimentos revolucionários em computadores e tecnologias de informação, oportunidades tecnológicas revolucionárias motivaram grandes firmas a estabelecer laços com instituições de pesquisa, especialmente laboratórios públicos e Universidades e a participar de consórcios de pesquisa. Do anteriormente exposto os autores definem três linhas de raciocínio principais, quais sejam: a) o grau de cumulatividade da ciência e tecnologia no segmento das nanotecnologias e o papel das empresas líderes e das novas entrantes; b) a dinâmica do conhecimento em nanotecnologias, e; c) o papel das instituições.

A produção de conhecimento novo é fortemente correlacionada ao estoque de conhecimento codificado na área em questão (artigos e patentes), mesmo quando este se defronta com rápida taxa de obsolescência do conhecimento.

Hill e Rothaermel (2003) ressaltam que conhecimento tácito e “know-how” estão incorporados nas rotinas das organizações. As rotinas das empresas líderes não podem mudar rapidamente. Ao contrário, são os novos entrantes que introduzem novas rotinas na indústria. Inúmeros são os trabalhos que tem focado o papel central dos “start-ups” baseados em ciência e biotecnologia (Corolleur, et al, 2004; Rothaermel e Thursby, 2005; Zucker et al, 2006). E já há também inúmeras publicações enfocando ‘start-ups’ de firmas em nanotecnologia (Porter, et al, 2006).

Entretanto, mesmo considerando a biotecnologia como mencionado por Rothaermel e Thursby (2007), pressuposições anteriores estão sendo reconsideradas em decorrência de ser possível uma abordagem com um período de tempo mais longo e estudos longitudinais. Particularmente hoje se assume que mesmo em biotecnologia, tem havido pouco deslocamento de empresas líderes, suscitando a idéia de que a 'destruição criativa' ocorreu no interior das grandes empresas pré-existentes, a exemplo da indústria farmacêutica. Isto não descarta o papel de novas entrantes, mas requer uma reflexão sobre o entendimento corrente acerca do surgimento de novas áreas.

Alguns autores (Muster et al, 2006) argumentam que elas preenchem a lacuna de conhecimento incorporando o novo conhecimento produzido nos instrumentos (a exemplo dos microscópios AFM e STM e mais novas ferramentas de modelagem e desenho em nanotecnologia) e por demonstrar aos usuários e acionistas o valor mais amplo da nova tecnologia através de posicionamentos em 'nichos' de mercado.

Dois artigos em especial enfocam o papel das empresas líderes no desenvolvimento das nanotecnologias. Rothaermel e Thusby (2007) examinam fatores chaves que explicariam o papel das empresas líderes ao longo do tempo e Avenell et al (2007) enfocam as estratégias de acumulação de conhecimento das firmas.

Os últimos pesquisadores confirmam a convergência da base do conhecimento em nanotecnologia das firmas através da análise da diversidade tecnológica tanto em número quanto ao portfólio de patentes das firmas. Entretanto, eles mostram que as estratégias diferem entre as Grandes e as Pequenas empresas: há convergência no nível de patentes individuais nas pequenas empresas, enquanto para as grandes empresas a convergência se dá no 'portfólio' de patentes.

Isto poderia confirmar a hipótese anterior do papel das Pequenas Empresas na dinâmica geral destas novas indústrias. Entretanto, fica em aberto as razões

por que as grande firmas investem tão pesadamente, muito além do que seria necessário para abastecer a capacidade de absorção da firma.

Uma pesquisa de Avenel e colegas sugere duas trajetórias de inovação: a hibridação da base do conhecimento existente para a grande firma e a exploração de conhecimentos novos em pequenas empresas. Estas conclusões se interconectam com o “resultado chave” de Rothaermel e Thursby (2007). Em artigo os autores testam um modelo onde a *performance* do conhecimento (medido pelo número de patentes obtidas) depende da articulação entre a base do conhecimento interna as firmas (medido pelo seu portfólio de patentes) e sua capacidade de absorção, identificadas pelas alianças em P&D ou aquisição de pequenas empresas intensivas em P&D.

Observando empresas líderes no setor de biotecnologia e de fármacos ao longo de 20 anos, Rothaermel e Thursby (2007) demonstraram o papel inicial crucial das alianças, ao passo que aumenta a importância dos investimentos em P&D internos quando técnicas e instrumentos tornam-se comercialmente disponíveis. Com estes resultados em mente eles se voltaram para um grande número de empresas líderes as quais haviam patenteado pelo menos uma vez em nanotecnologia ao longo do mesmo período. Encontraram, então, resultados muito diferentes, onde os investimentos internos em P&D são fatores chave, associado no período recente (após a comercialização de instrumentos chave e larga escala) com um papel significativo também para as aquisições.

Em face ao exposto estes autores sugerem que as nanotecnologias estão em um nível diferente do ciclo de vida tecnológico. Argumentam que a tecnologia habilitadora inicial está apenas estimulando as atividades de pesquisa e que ainda fazem-se necessário ‘novos métodos de invenção’ (Darby e Zucker, 2003) para estimular inovações.

Robinson et al (2007) sugerem que isto também depende de mais investimentos em laboratórios de pesquisa e plataformas tecnológicas. Enquanto estes investimentos não estiverem plenamente efetuados,

permaneceremos num estágio de pré-aliança enfocando na acumulação e teste de novos conhecimentos entre os agentes envolvidos.

A dinâmica industrial e do conhecimento nas nanotecnologias emergentes, assim como a formação de alianças é, pois, apontada como sendo dependente da forma como os processos de busca são organizados e se dá de modo similar ao ocorrido nas ondas anteriores incluindo tecnologia da informação e biotecnologias.

Bonaccorsi e Thoma (2007) a partir de recente trabalho sobre regimes de busca (Bonaccorsi, 2005) propuseram o que denominaram de ‘economia industrial de pesquisa’. O modelo deles é baseado em três propriedades que caracterizam a produção do conhecimento:

- a) A taxa de crescimento;
- b) O número de opções e direções que os pesquisadores exploram (e, portanto, o grau de cumulatividade do conhecimento); e,
- c) A natureza e as complementaridades requeridas – estas complementaridades podem ser cognitivas (isto é interdisciplinaridades); técnicas (por exemplo, ciência pesada e instalações laboratoriais sofisticadas) ou institucionais (misturando produtores com base institucionais diferentes, por exemplo, Universidade e indústria).

Usando as mesmas fontes em artigos anteriores eles argumentam que as nanotecnologias observaram nos últimos quinze anos uma taxa muito rápida de crescimento, muito acima do crescimento da ciência e da tecnologia em geral (com o expressivo número de 14% contra uma média de 2%). E esta é uma ciência altamente divergente (usando como indicador a taxa anual de aparecimento de novas palavras chaves – consistentemente acima de 40% para todo o período).

Eles então focam em complementaridades institucionais baseadas em mais de 800 (oitocentos) inventores de seu banco de dados, e propõem uma taxonomia simples que leva a resultados surpreendentes. Separando inventores com base em publicações acadêmicas eles classificam patentes em três classes:



- a) Patentes de inventores que são só inventores;
- b) Patentes de inventores que são também autores de trabalhos científicos;
- c) Patentes que mesclam os dois tipos de inventores anteriores.

Isto os leva a confirmar a sugestão de Rothaermel e Thursby que a nanotecnologia é vista como estando em um estágio muito inicial, comparadas às biotecnologias e tecnologias de informação, uma vez que dois terços das patentes têm pelo menos um inventor que tenha também publicado artigos científicos.

Observando então a performance (os autores que mais patentearam) e a qualidade das patentes (misturando diversidade, fôlego e extensão), mostram que as patentes do híbrido 'autor-inventor' são as mais promissoras ressaltando a importância crítica das complementaridades institucionais.

Estas conclusões são convergentes a de outros trabalhos (Dietz e Bozeman, 2005) e o segundo ponto de Zucker et al (2007) sobre a localização geográfica do conhecimento e o papel chave das relações trans-institucionais. Enquanto Bonaccorsi e Thama (2007) demonstram a importância de ligações heterogêneas em nano patenteamento.

Zucker et al (2007), por exemplo, quando analisam performance relativa das 179 áreas econômicas dos Estados Unidos, enfatizam a importância das relações trans-institucionais na nano produção.

Ambos os resultados poderiam assim ser complementares, quanto mais numerosos os canais trans-institucionais ao nível da área, maiores as chances de desenvolver patentes do tipo 'autor-inventor' e maior tenderá a ser a produtividade dos autores locais.

Quando a análise é ampliada ao nível do país, os resultados coincidem com o alerta feito por Guan (2007) quando o mesmo analisou o rápido crescimento das publicações chinesas em nanotecnologia.

A China é hoje o segundo país em número de publicações na área, porém mais de 99% destas publicações são produzidas nas Universidades e na Academia Chinesa de Ciências.

A explanação subjacente ao papel das relações institucionais e produção localizada de conhecimento lida com a importância das dimensões tácitas nas áreas de conhecimento emergentes, e de crescimento rápido em áreas ainda fluidas do conhecimento.

Os desafios deste conhecimento novo produziram 'excludências naturais temporárias' (Rothaermel e Thusby, 2007) requerendo múltiplas cooperações e/ou alianças para superá-las.

Ao mesmo tempo a incerteza que prevalece em descobertas científicas requer muitos debates e ajustes. Isto aponta para uma vantagem para a proximidade geográfica acima de qualquer outro tipo de proximidade.

Entretanto, considerando o alto nível de aglomeração em biotecnologias, onde 50% das firmas de biotecnologias americanas são criadas em quatro áreas (Powell et al, 2002), pergunta-se se esta característica se aplica também às nanotecnologias.

As nanotecnologias seguem tendências evolutivas similares às observadas nas biotecnologias e nas tecnologias de informação? Ou as nanotecnologias apresentam comportamento específico?

Robinson et al (2007) sugerem que uma diferença importante refere-se a como manipular e produzir na nanoescala e no papel chave das instalações de pesquisa. Eles afirmam que 'a aglomeração tecnológica é o efeito de plataformas tecnológicas sendo implantadas e expandidas. Isto relaciona fortemente a dinâmica do conhecimento com a terceira linha de argumentação, focado na transformação institucional.

Os artigos mencionados anteriormente já demonstraram que as instituições são importantes. Ao insistir nas relações interinstitucionais eles remetem a trabalhos sobre sistemas de inovação e mais especificamente a sistemas regionais e *clusters*. Entretanto, eles apenas focam as relações, canais e redes não focando nas organizações em si. Jong (2006) demonstra em seu estudo sobre a área da Baía de São Francisco que o ‘ambiente de pesquisa’ em uma Universidade, a Universidade da Califórnia São Francisco, desempenhou papel central na criação e no crescimento de empresas de biotecnologias.

Aquele ambiente de pesquisa estava no centro da análise desenvolvida por Robinson et al (2007), sobre pesquisa e indústria em nanotecnologia em Grenoble, França e Twent – Holanda. Eles demonstraram a importância das transformações organizacionais permitidas pela criação de duas empresas chave (Mesa e Minatec), e discutiram as duas trajetórias distintas que ambas apresentaram.

Sejam quais forem as diferenças, uma dimensão crítica e a mudança nas condições sob as quais as atividades de pesquisa são desenvolvidas, baseadas no papel crescente das plataformas tecnológicas e a ‘interdisciplinaridade de longa distância’.

Isto se relaciona com os resultados obtidos por Stephan et al (2007) em sua pesquisa sobre o treinamento em nanotecnologia nas Universidades. Eles demonstraram que o treinamento ‘on the job’ através das atividades de pesquisa prevalece, salientando a importância crítica em treinar diferentes formas de desenvolver pesquisa em nanotecnologia (Pickstone, 2001).

Entretanto, pesquisa que desenvolveram com acadêmicos em centros de nanotecnologia os levaram à uma interpretação diferente: a ausência de rotatividade para treinamento em nível de doutorado (um importante fator no aprendizado em nanotecnologia) realça o papel de um ‘investigador principal’, abordagem de pesquisa dominante, tipificada pelo desenvolvimento de grupos de pesquisa centrados nos membros das faculdades que geraram fundos via

bolsas e contratos. O que contrasta com as conclusões de Robinson et al (2007).

Após toda esta análise Bozeman et al (2007) concluem que permanece em aberto a grande questão: **qual é o papel das instalações de pesquisa e de produção no desenvolvimento das nanotecnologias? São elas ingredientes chaves para estimular a aglomeração tecnológica e a convergência?** A que acrescentamos, investimentos em infra-estrutura de pesquisa é fator chave para a promoção do desenvolvimento das nanotecnologias?.

Em concordância com Bozeman et al (2007) afirma-se que “quando uma área é fluida e transpassa as fronteiras de inúmeras outras áreas do conhecimento (física, química, biociências, engenharia, dentre outras) torna-se especialmente difícil entender sua dinâmica”. Tal complexidade amplia-se ao se constatar que a transdisciplinaridade requerida à análise e intervenção no desenvolvimento das nanotecnologias vai além das áreas tecnológicas exigindo também o enfoque de suas implicações econômicas, sociais e ambientais.

Apesar da impossibilidade de utilizar-se das abordagens anteriores como bases únicas para a análise das nanotecnologias, no contexto desta Nota Técnica, as mesmas serão utilizadas enquanto base de comparação para aspectos específicos referentes ao desenvolvimento das nanotecnologias internacionalmente e no Brasil, em especial, a) no que se refere à relação com a infra-estrutura científica; b) à possibilidade de existência de “janelas de oportunidades” para a entrada do Brasil nesse setor, c) à importância desse setor para a renovação da base tecnológica d) ao financiamento, e) ao patenteamento e, f) ao papel das instituições.

## I – 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 U\$ 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; restauração de órgãos humanos (a exemplo da produção de pele artificial); ‘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 patentes, 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.

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 U\$ 1.5 Trilhões em 2015, enquanto projeções européias apontam para um mercado de 1 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 foi comparado no âmbito do NOR (2008) ao modelo de desenvolvimento tecnológico desenvolvido pela empresa de consultoria Gartner Group e denominado de “Hype Cycle”. Este modelo de ciclo identifica cinco estágios, a saber: a disparada pela tecnologia (technology trigger), o pico de expectativas infladas (Peak of Inflated expectations); o canal da desilusão (the Trough of Disillusionment), a curva de iluminação (the Enlightenment) e o platô da produtividade (Plateau of Productivity).

A primeira fase foi 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. Passado o pico, os investidores em nanotecnologia se viram diante do “canal da desilusão” com a percepção gradual de que a indústria da nanotecnologia não existia e que ninguém estava fazendo dinheiro com ela.

Assim em 2007 atingimos o clássico “canal da desilusão”, muitos foram deslocados sem nunca chegar ao mercado. Até a 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 os 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, nano cápsulas, biossensores e aditivos de tintas.

A produção de nanomateriais é uma das principais formas de impactação 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.

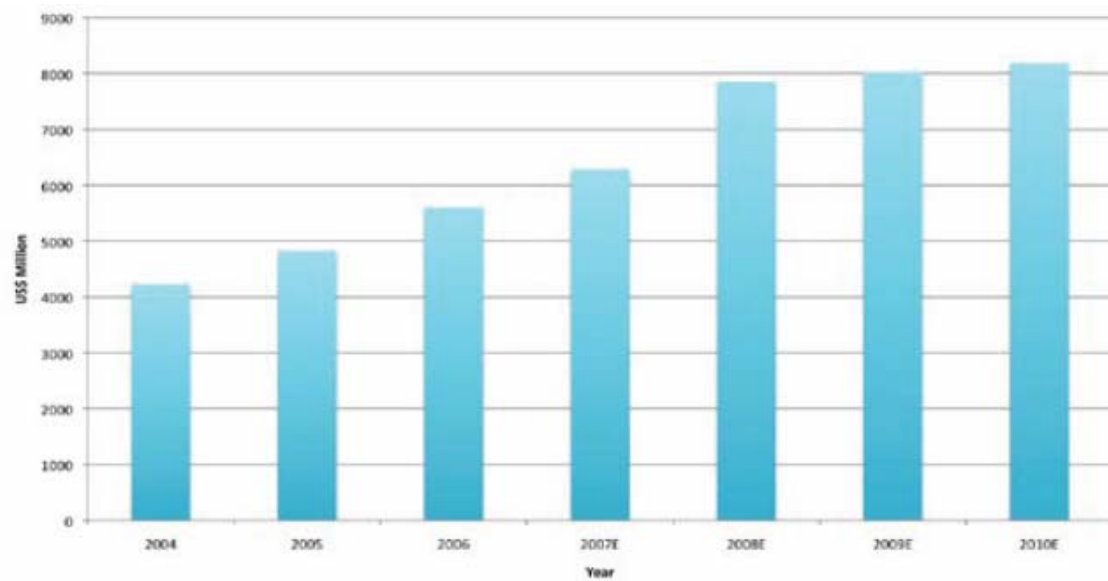


A indústria têxtil tem sido uma das primeiras e principais indústrias na adoção de produtos e processos nanotecnológicos com a cifra de US\$ 13.6 bilhões em tecidos usando nanotecnologias no mercado em 2007. Com projeções de que estes números subam para US\$111 bilhões em 2012.

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 manufadoras encontra-se na Ásia.

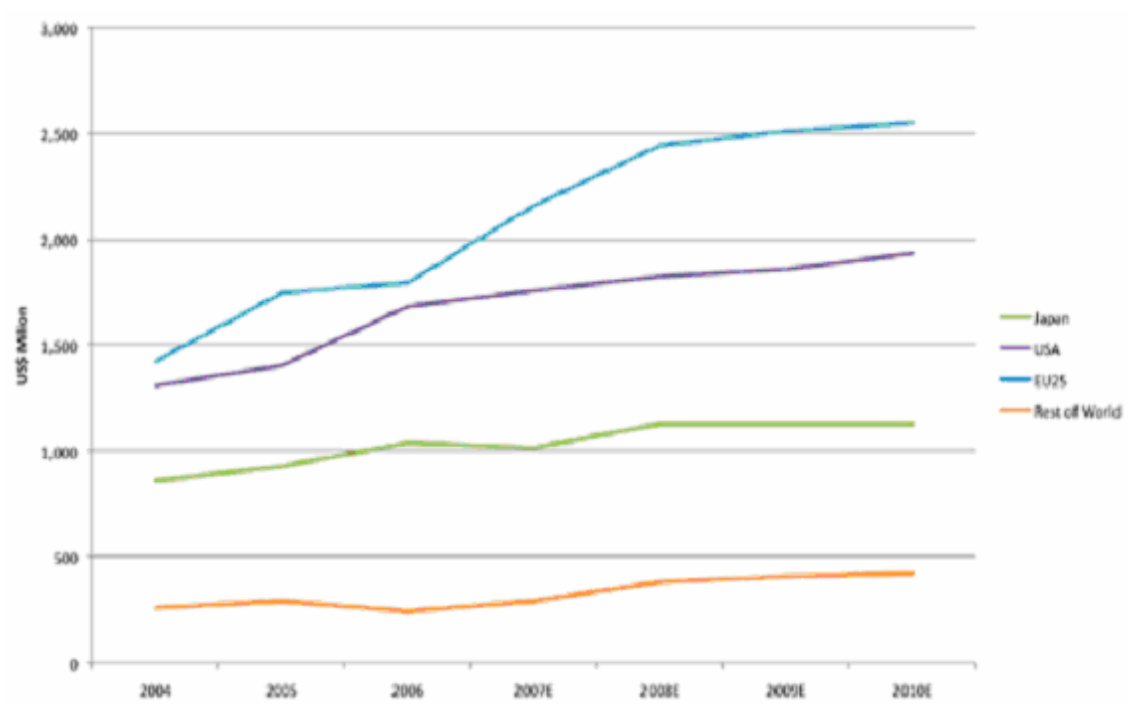
Entretanto, alerte-se que o mais rápido e intenso uso de nano insumos no âmbito da indústria têxtil está ainda circunscrito a produções especiais: tecidos para uso na área de saúde, área militar e tecidos esportivos, áreas em que a *performance* é mais importante que o custo. Na indústria de vestuário 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 2 e 3 ilustram os investimentos públicos em países selecionados, reiterando a liderança da Europa, Estados Unidos e Japão em nanotecnologias.



Fonte: NOR, 2008.

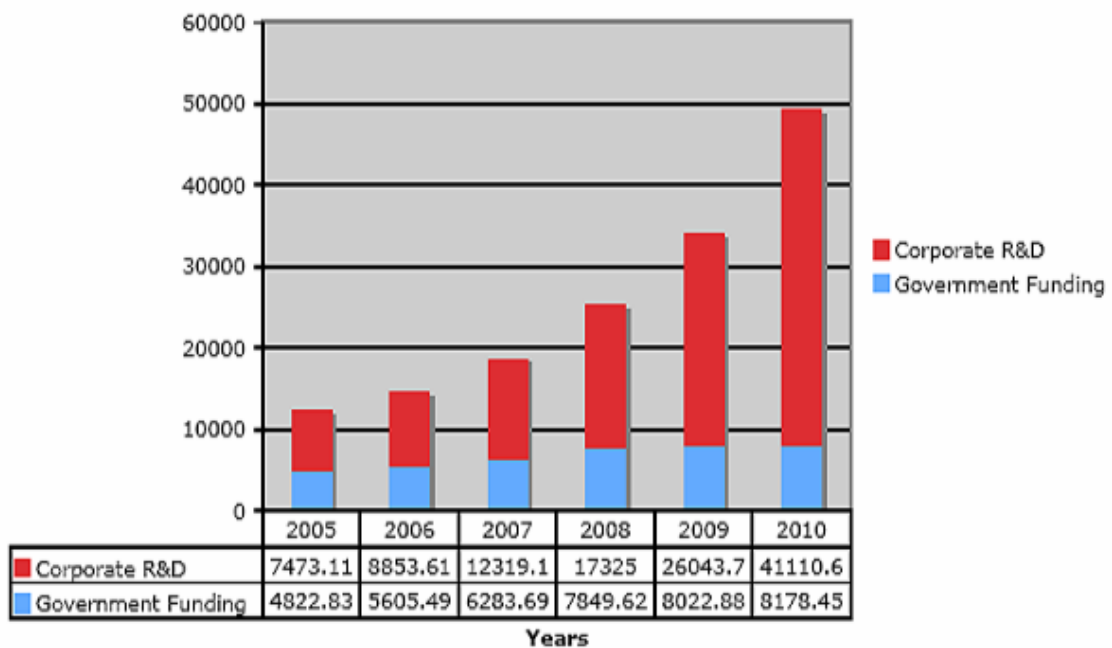
**Figura 2: Investimentos Governamentais Globais em Nanotecnologias**



Fonte: NOR, 2008.

**Figura 3: Investimentos Públicos em Nanotecnologia em Países Líderes**

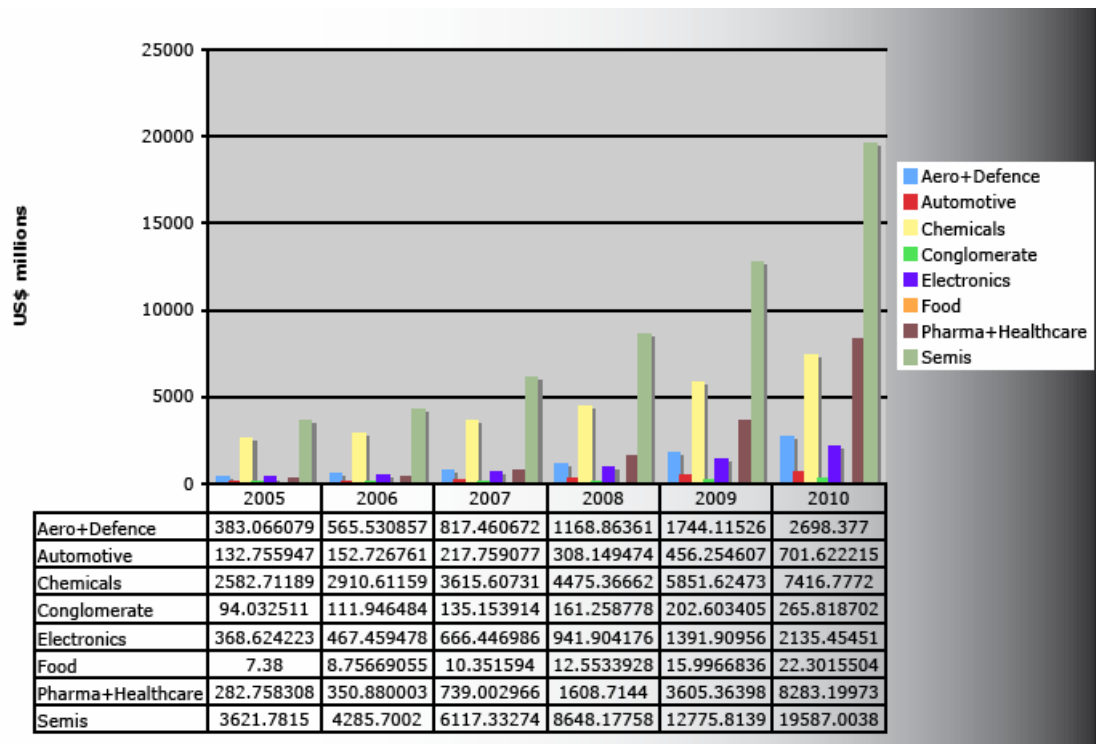
A mudança no perfil dos investimentos, anteriormente enfatizada, pode ser corroborada pelos dados dos gráficos 4 e 5 que ilustram a progressiva superação dos investimentos públicos pelos investimentos das grandes corporações privadas. Assim percebe-se o deslocamento dos pequenos grupos de pesquisa em universidades ou pequenas empresas ao estilo “pesquisador-inventor” enquanto principais agentes no processo de inovação e de produção de nanotecnologia, em termos globais.



Fonte: NOR 2008

**Figura 4: Investimentos Totais em Nanotecnologia**

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.

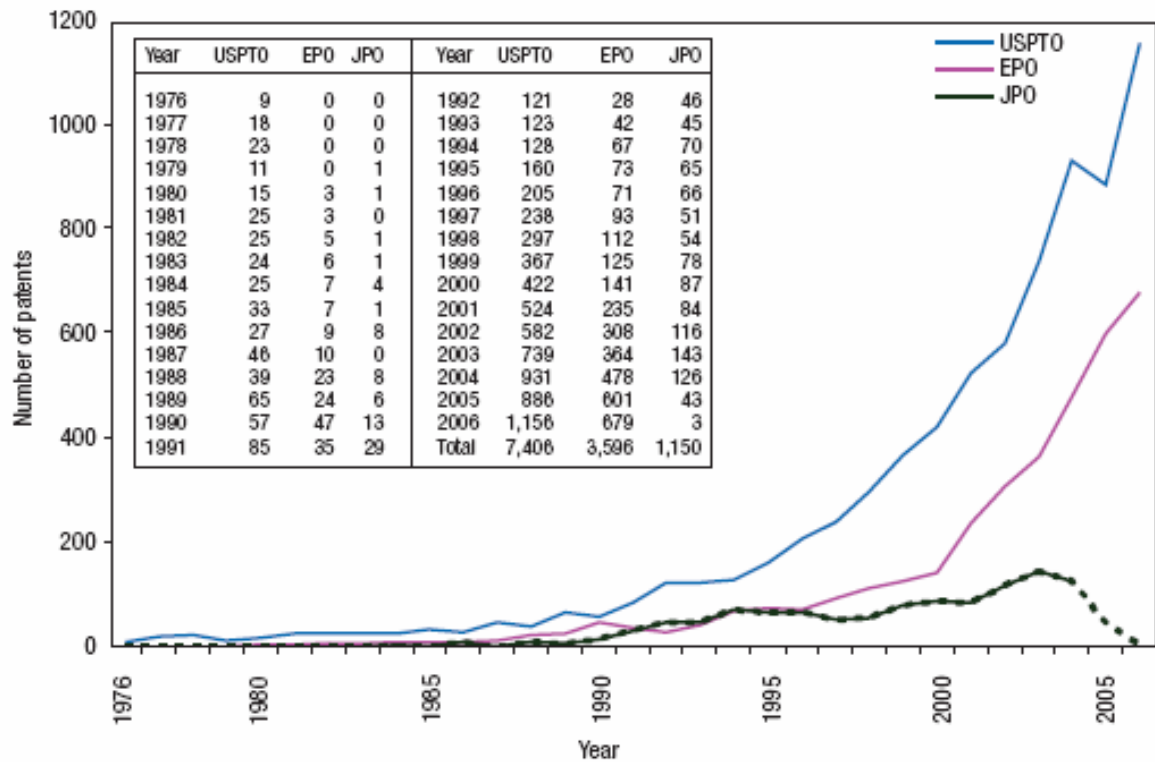


Fonte: NOR 2008

**Figura 5: Investimentos Corporativos em P&D por setor**

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, e, 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) quanto 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 6, 7, 8 e a tabela 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 e; finalmente, o número de patentes por países nos Estados Unidos e na Europa, respectivamente.



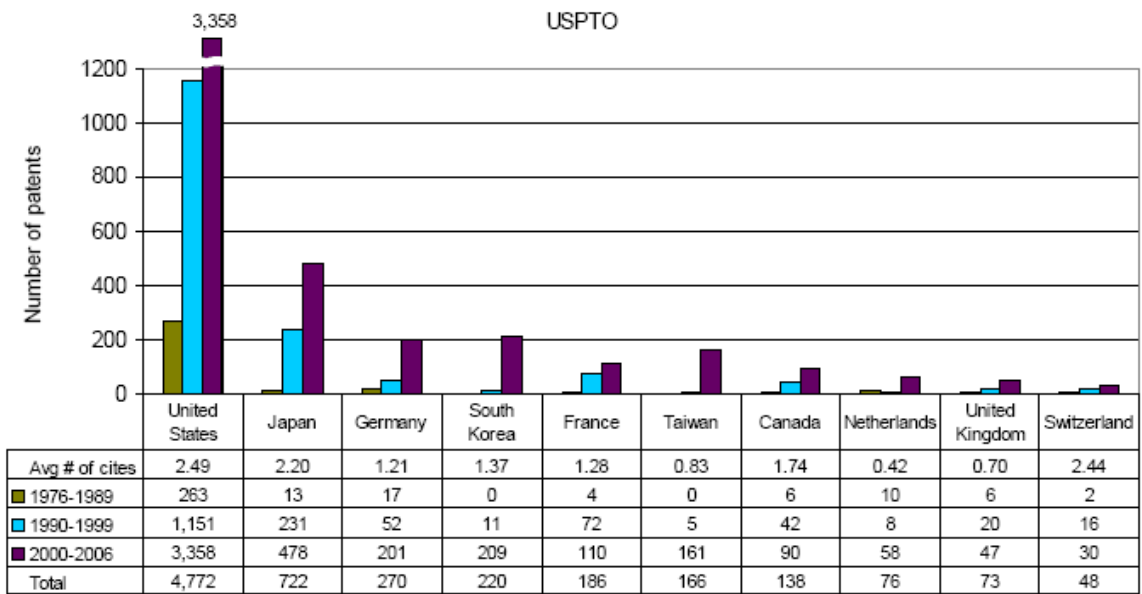
Fonte: CHEN et al, 2008.

**Figura 6 – Número de Patentes Publicadas em Nanotecnologia pelo USPTO, EPO e JPO segundo data de Publicação**

**Tabela 1: Empresas e entidades que mais publicaram patentes em nanotecnologias USTPO (1976-2006), EPO (1978-2006) e JPO (1976-2006)**

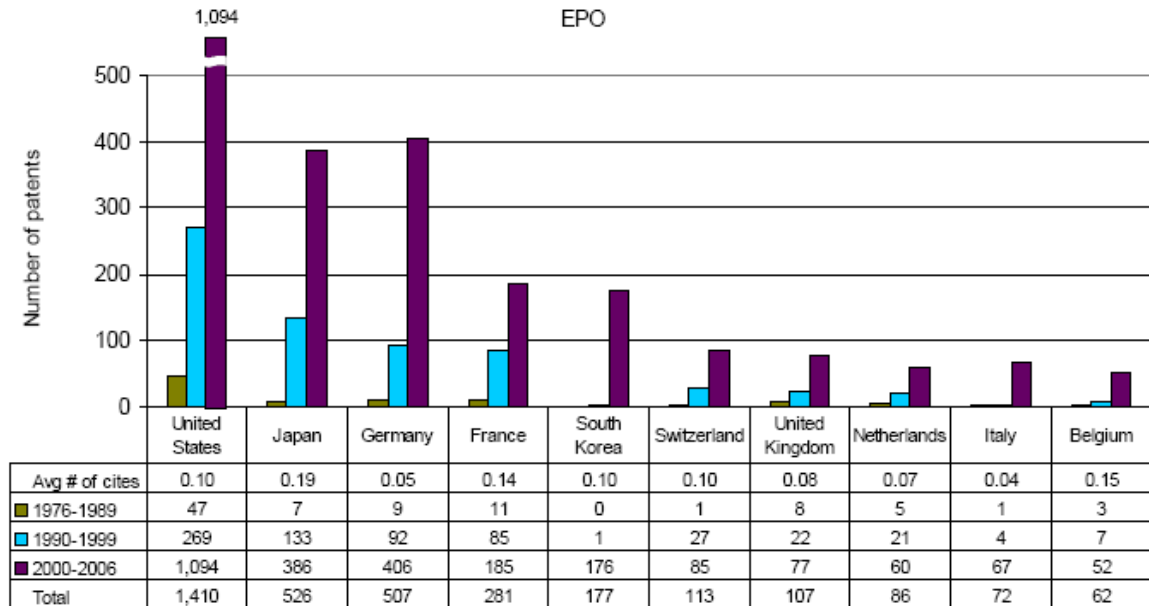
Rank	Institution	No. of patents
US Patent and Trademark Office		
1	IBM	209
2	University of California	184
3	US Navy	99
4	Eastman Kodak	90
5	Massachusetts Institute of Technology	76
6	Micron Technology	75
7	Hewlett-Packard	67
8	Xerox Corporation	62
9	3M Company	59
10	Rice University	51
European Patent Office		
1	Japan Science and Technology Agency (Japan)	78
2	L'Oreal (France)	60
3	IBM (US)	50
4	Rohm & Haas (US)	47
5	Samsung (South Korea)	45
6	Eastman Kodak (US)	40
7	CEA (France)	39
8	CNRS (France)	37
9	Matsushita Electric Industrial (Japan)	32
10	BASF(Germany)	31
Japan Patent Office		
1	Nippon Electric	109
2	Japan 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	31
10	Seiko Instruments	27

Fonte: CHEN et al, 2008.



Fonte: CHEN et al, 2008.

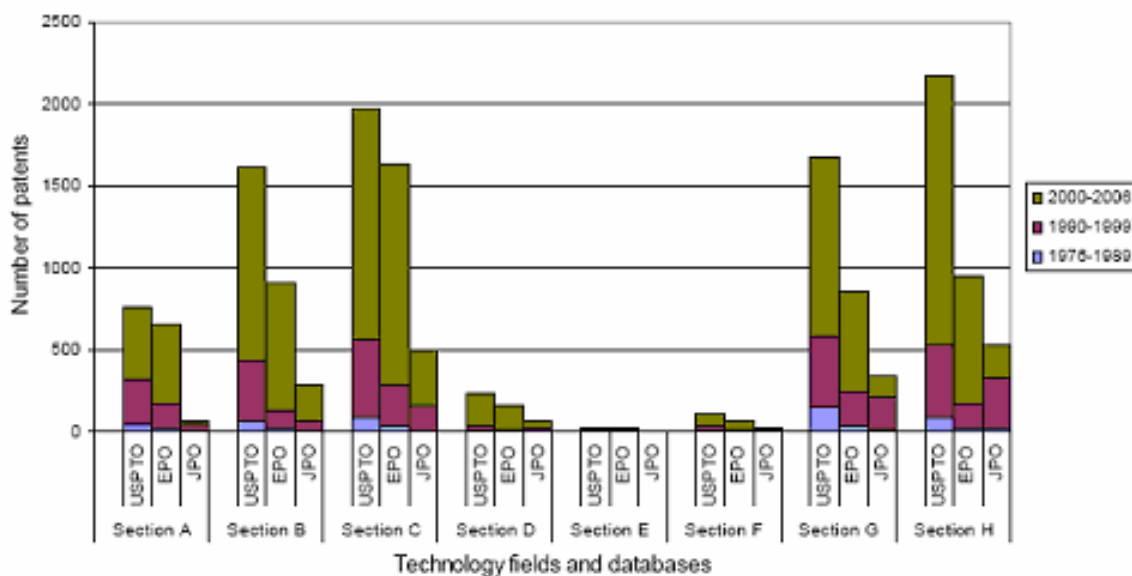
**Figura 7: Número de Patentes por Período - USPTO**



Fonte: CHEN et al, 2008.

**Figura 8 - Número de Patentes por Período - EPO**

A figura 9 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.

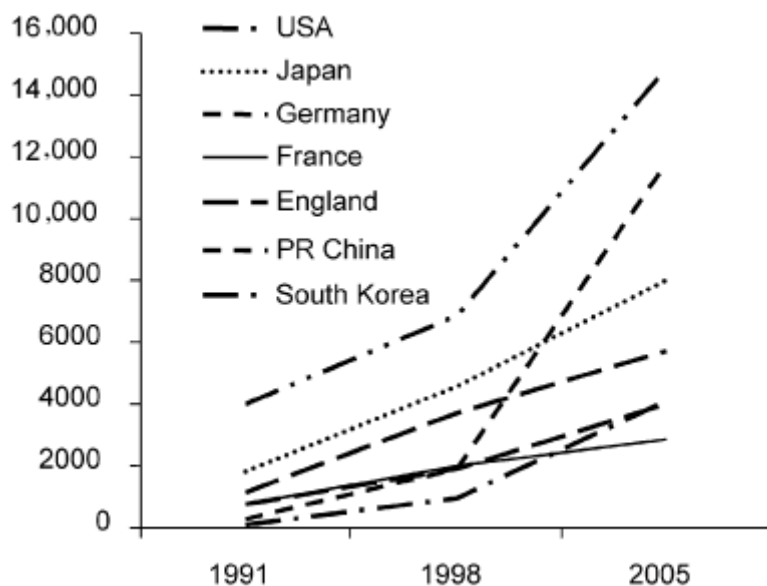


Fonte: CHEN et al, 2008.

**Figura 9 – Número de Patentes por área Tecnológica**

Embora, 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 10.





Fonte: Kostoff, et al. (2006)

### **Figura 10: Número de Artigos sobre Nanotecnologia em Países Seleccionados**

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 subáreas seleccionadas 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 2 sintetiza estas informações.

**Tabela 2 - Distribuição de Artigos por Países – Total de Artigos/500 Artigos mais Citados (2002)**

Country rank by total publications		Country rank by most cited (80 cites 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	11.55	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
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
Singapore	1.22	Scotland	0.80
Austria	1.02	Singapore	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 Européia 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 na introdução desta Nota Técnica 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 Européia 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 1º 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;

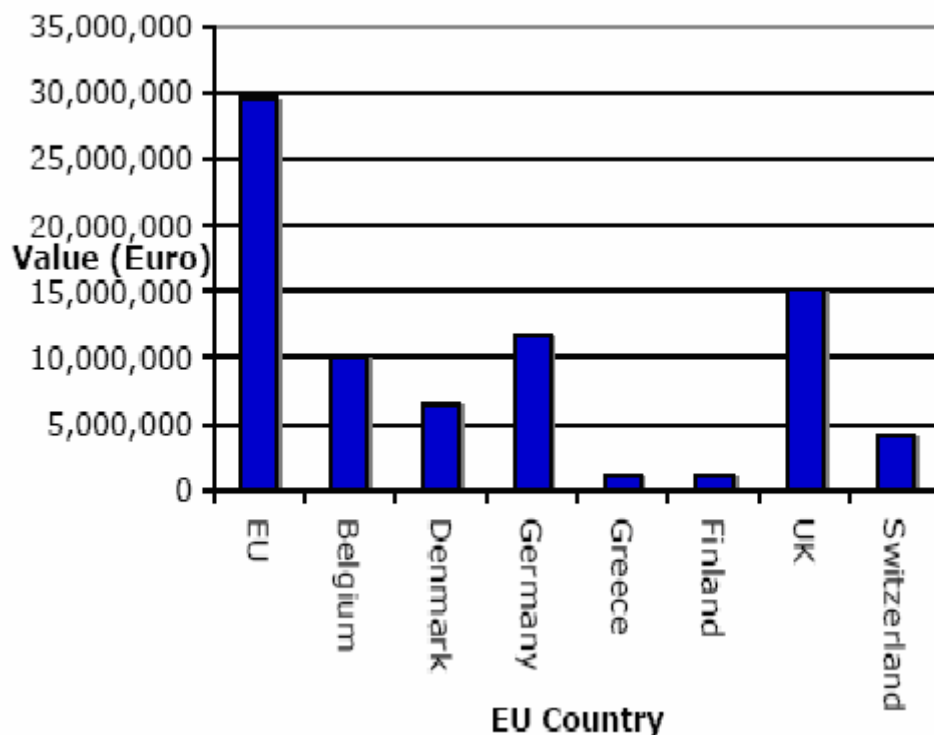
- c) Expressam a percepção de que todas as tecnologias impactam nossas vidas e assim como trazem benefícios pode haver riscos em sua utilização, os quais devem ser identificados e mitigados.

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 7º 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 12 ilustra os investimentos em saúde e segurança relacionadas à nanotecnologia no âmbito da União Européia. De 2005 a 2008.



Fonte: NOR, 2008.

**Figura 12 – Investimentos em Saúde e Segurança relacionados à nanotecnologias desde 2005**

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.



## II – 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, e;
- 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, Infra-estrutura básica e infra-estrutura 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 Infra-estrutura 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.

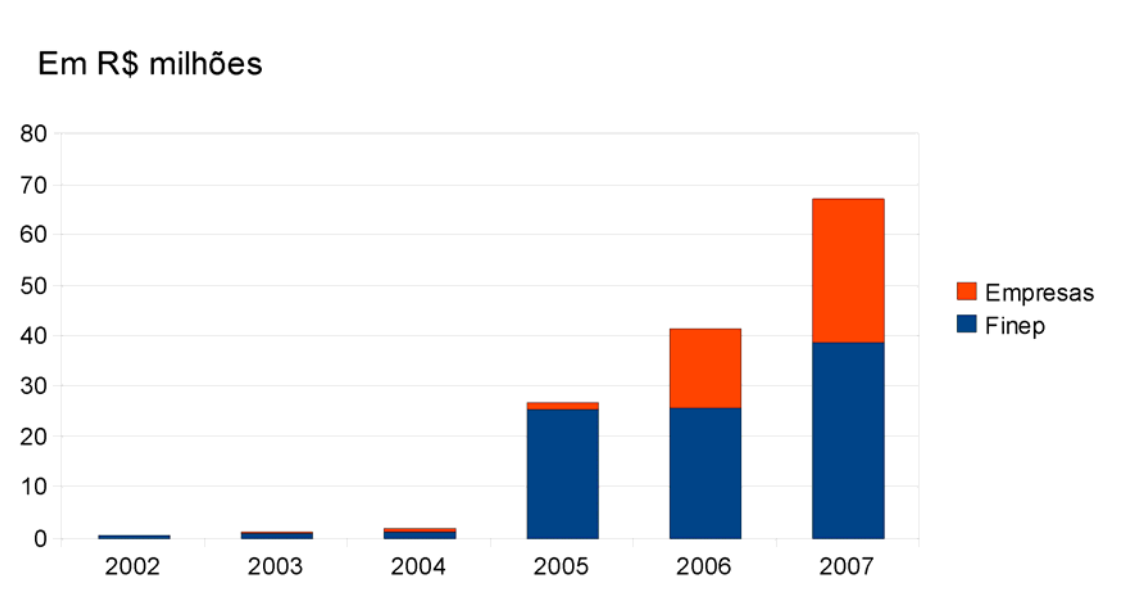
Analisando-se, entretanto os investimentos previstos neste Programa - um total de R\$ 69,99 milhões, conforme explicita a Tabela 3, percebe-se que são tímidos quando comparados aos investimentos mundiais que passaram de US\$ 1 bilhão em 2000 para US\$ 12,4 bilhões em 2006 e estão projetados para superarem os US\$ 40 bilhões em 2010. A figura 13 sintetiza os investimentos em nanotecnologias do MCT, via FINEP, também apresentando valores bem inferiores aos volumes que têm sido investidos em nanotecnologias internacionalmente.

**Tabela 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



Fonte: FINEP

### Figura 13 - Investimentos em Nanotecnologia – valores por instrumento

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 atrás. 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 infra-estrutura 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 micro econômico 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.

Atualmente as redes organizadas pelo MCT, concentram-se nas áreas de química e física, são elas: Rede de pesquisa em Materiais Nanoestruturados (Coordenação UFRGS); rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces – RENAMI (Coordenação UFPE); Rede Nacional de nanobiotecnologia - Rede Nanobiotec – (coordenação UNICAMP); Centro Multidisciplinar de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos -CMDMC- (UESP); Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados (UFPE) e Laboratório de Química do Estado Sólido (UNICAMP). A Rede de Nanotecnologia – USP difere de todas as anteriores por ser coordenada pela FEA – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto. Registre-se ainda a RENANOSOMA - Rede de pesquisa em nanotecnologia, sociedade e meio ambiente, que é multidisciplinar e foi constituída pela iniciativa de pesquisadores predominantemente das áreas de sociologia e meio ambiente.

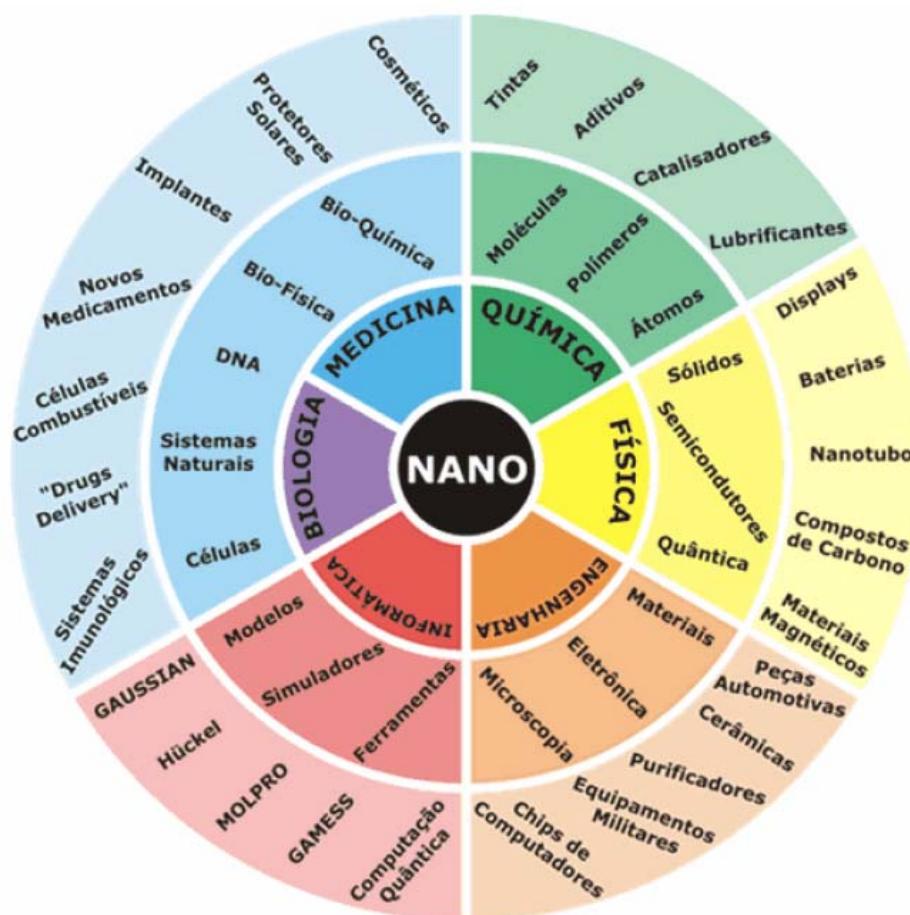
Em grande medida, as pesquisas desenvolvidas nas Universidades e em Centros de Pesquisa tem sido norteadas pela curiosidade acadêmica de seus pesquisadores ao invés de vinculados à estratégias de desenvolvimento da competitividade nacional na área. Entretanto é importante frisar que em torno de alguns destes pesquisadores inovação tem ocorrido, com destaque para os trabalhos desenvolvidos na UFPE, EMBRAPA, UNICAMP, UFSCar, UNB E UFGRS.

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).

A Figura 14 sintetiza as principais aplicações das nanotecnologias em diversos segmentos produtivos numa abordagem de convergência tecnológica. Informações que associadas ao trabalho das redes de pesquisa, de perspectivas de mercado global traçadas pelo NOR 2008 e pelas características estruturais da economia brasileira serão usadas na proposição de políticas de investimentos em nanotecnologia no Brasil.

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.



Fonte Smith 2004, apud CGEE, 2008.

**Figura 14 – Síntese de Aplicações das Nanotecnologias em contexto de Convergência Tecnológica**

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. (No item III são explicitados os Mapas Tecnológicos desenvolvidos no âmbito do referido trabalho). 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, apresenta-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 (estas e outras empresas serão detalhadas no item III).

Vislumram-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 bilhões em 2008, com projeções de crescimento de 100% nos próximos quatro anos. Adicionalmente é segmento onde os trabalhos de pesquisa da UFRGS 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 UNICAMPI 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.

### **III – 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.

Neste contexto, a partir da visão de pesquisadores das redes de pesquisa em nanotecnologia no Brasil, anteriormente mencionadas, e considerando oportunidades tecnológicas a partir da *expertise* destes grupos estão sendo projetados, no âmbito de trabalhos da ABDI com vistas ao desenvolvimento de agenda estratégica para o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil, “mapas tecnológicos” para três períodos de tempo: 2008 - 2010, 2011 -2015 e 2016 -2025. Explicitam-se nestes mapas as fases em que cada nanotecnologia deverá estar no período analisado, sendo elas P&D, Inovação, Produção ou Comercialização.



## Mapa Tecnológico para o período 2008-2010:

**Comercialização** - LEDs inorgânicos para iluminação

**Produção** -

**Inovação** - Revestimentos nanoestruturados; Nanopartículas; Nanomateriais estruturais; Roll-to-roll para nanocompósitos; *Displays*; LEDs orgânicos: *displays* e iluminação; Células solares, *quantum dots* e heterojunção; sistemas de entrega e liberação controlados; materiais nanoestruturados para aplicação na agricultura; revestimentos e filmes biofuncionais; LEDs orgânicos para iluminação; células a combustível PEM; nanosensores; nanomateriais e fontes renováveis; materiais para controle microbiano; tratamento de água e de resíduos.

**Pesquisa & Desenvolvimento** – Nanomateriais estruturais; nanotubos e nanofibras; nanomateriais semicondutores e magnéticos; nanomateriais funcionais; dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais; tecnologias “top-down” e “bottom-up”; Vacuum microelectronics com nanotubos; integração spintrônica, nanotubos, grafeno: transporte; dispositivos moleculares; dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas; LEDs inorgânicos; dados e telecomunicações: lasers, fotodetectores, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos;

Outros dispositivos optoeletrônicos e optoeletrônica de consumo; sensores fotônicos; sensores plasmônicos; materiais nanoestruturados biocompatíveis; biossensores; imageamento molecular; células solares orgânicas e inorgânicas; bactérias e capacitores; células a combustível: óxido sólido; nanotubos, nanocatalisadores, LEDs inorgânicos para iluminação; atividade catalítica biocombustíveis e gás natural; “sistemas de liberação controlada referentes ao tema meio ambiente”.

## Mapa Tecnológico para o Brasil: Período 2011-2015

**Comercialização:** Nanomateriais estruturais; células solares com nanocompósitos: *displays* OLEDs; *Roll-to-roll* para nanocompósitos; células solares: *quantum dots* e heterojunção.

**Produção:** nanopartículas; revestimentos nanoestruturados; LEDs orgânicos: *displays* e iluminação; *displays*; outros dispositivos optoeletrônicos e optoeletrônicos de consumo; dados e telecomunicações: lasers, fotodetectores, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos; materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura; revestimentos e filmes biofuncionais; células solares orgânicas e inorgânicas. LEDs orgânicos para iluminação. Células a combustível PEM; baterias e capacitores; nanossensores; nanomateriais e fontes renováveis de energia; sistemas de liberação controlada: “tema nano ambiente”; tratamento de água e resíduos; materiais para controle microbiano.

**Inovação:** Nanomateriais semicondutores magnéticos, nanomateriais funcionais, tecnologias “top-down” e “bottom-up”; dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais; sensores fotônicos: sensores plasmônicos; materiais nanoestruturados nanocombustíveis; sistemas de entrega e liberação controlada; biossensores; células solares orgânicas e inorgânicas; nanocatalisadores; nanotubos aplicados à energia; baterias e capacitores; células à combustível: óxido sólido; atividade catalítica: biocombustíveis e gás natural.

**Pesquisa e desenvolvimento:** nanomateriais semicondutores magnéticos, nanomateriais funcionais, nanotubos e nanofibras; além da tecnologia do silício; vacuum microelectronics com nanotubos; dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas; NEMs e atuadores; integração “top-down” e “bottom-up” , células solares poliméricas e de pequenas moléculas; sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes; LEDs inorgânicos; imageamento molecular; célula combustível biológica; LEDs inorgânicos para iluminação; membranas e filtros: para gases e para líquidos orgânicos; técnicas de monitoramento e de diagnóstico; ciclo de vida.

## Mapa Tecnológico para o Brasil: Período 2016-2025

**Comercialização:** Nanopartículas; revestimentos nanoestruturados; nanomateriais estruturais; dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais; tecnologias top-down e bottom-up; NEMS e atuadores; LEDs orgânicos: displays e iluminação; células solares: quantum dots e heterojunção; Displays; Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura; revestimentos e filmes biofuncionais; LEDs orgânicos para iluminação; células solares orgânicas e inorgânicas; baterias e capacitores; células a combustível: PEM; membranas e filtros: água/para evaporação; materiais para controle microbiano; tratamento de água e resíduos; atividade catalítica: biocombustíveis e gás natural, consolidação da tecnologia.

**Produção:** Nanomateriais semicondutores magnéticos; outros dispositivos optoeletrônicos: optoeletrônica de consumo; dados e telecomunicações: lasers, fotodetectores, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos; sensores fotônicos: sensores plasmônicos; materiais nanoestruturados biocompatíveis; sistemas de entrega e liberação controlada; biossensores; nanocatalisadores; nanotubos; nanosensores; nanomateriais & fontes renováveis; sistemas de liberação controlada aplicados ao tema nanoambiente.

**Inovação:** Nanomateriais funcionais; nanotubos e nanofibras; vacuum microelectronics com nanotubos; dispositivos não convencionais; integração top-down e bottom-up; células solares: poliméricas e de pequenas moléculas; sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes; imageamento molecular; célula a combustível: óxido sólido; ciclo de vida.

**Pesquisa e desenvolvimento:** Quebra de paradigma: nanobjetos replicando a natureza; além da tecnologia do silício; LEDs inorgânicos; célula combustível biológica; LEDs inorgânicos para iluminação; membranas e filtros: para gases e para líquidos orgânicos; técnicas de monitoramento e diagnóstico.

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 norteados

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 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.

Portanto, trabalhos adicionais de aprofundamento de análises econômicas de mercados específicos e maior envolvimento do empresariado nacional ou internacional, numa perspectiva de antecipação de parcerias, evitando-se a total desnacionalização de segmentos da indústria brasileira, permanecem enquanto desafios.

Considerando-se o nível de envolvimento governamental nos trabalhos da ABDI a tendência esperada é a de que tais Mapas Tecnológicos tenderiam a definir os investimentos públicos em nanotecnologias, sendo, entretanto, insuficientes para catalisar, de forma sistemática as inovações necessárias ao seu desenvolvimento.

Visando maior consistência na promoção de inovações nanotecnológicas faz-se necessário adicionar à prospecção tecnológica a identificação das empresas que hoje atuam no Brasil em nanotecnologia, bem como a busca de novas empresas potenciais em investimentos na área, a partir da identificação das *janelas de oportunidade* já mencionadas como embasamento para uma política de fomento ao setor.

Provê-se em seqüência uma relação de empresas que atuam em nanotecnologia no Brasil, efetuada através de exposição em feiras de nanotecnologia, participação de editais do MCT/FINEP e divulgadas como empresas situadas em incubadoras de empresas de base tecnológica (Martins, 2007).

**EMPRESA:** Orbys

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Nanocompósitos poliméricos de Látex de borracha natural e de argila (IMBRIK)

**APLICAÇÃO:** Plásticos, embalagens, calçados, saúde, construção civil, brinquedos, autopeças.

**EMPRESA:** Santista Têxtil

**LOCALIZAÇÃO:** SP e outros estados

**PRODUTO:** Technopolo Light e o Image (Technopolo Light: o tecido é 100% algodão, com maior leveza do que a versão original do Technopolo, apropriado para a confecção de camisas. O acabamento NanoComfort proporciona toque e resistência diferenciados, além do acabamento antimicrobial, que elimina os odores da transpiração. Image: produto 100% poliéster, com visual, toque e caimento de tecido de lã ou poliéster/lã, utilizado geralmente para confecção de ternos e conjuntos sociais masculinos e femininos. Também absorve

rapidamente a transpiração, como uma roupa de fibra natural, tem facilidade na remoção de manchas e mantém as funcionalidades de um produto sintético.

**APLICAÇÃO:** Indústria têxtil e de confecções

**EMPRESA:** Suzano Petroquímica

**LOCALIZAÇÃO:** SP, RJ e BA

**PRODUTO:** Polipropileno

**APLICAÇÃO:** Indústria automotiva e de embalagens

**EMPRESA:** Embrapa

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** O revolucionário filme protetor comestível e a língua eletrônica  
Filme Comestível: é aplicado diretamente sobre os alimentos, como frutas e legumes; garante sua qualidade e aparência, permitindo o consumo imediato sem nenhuma necessidade de tratamentos ou limpezas subseqüentes. Língua Eletrônica: o sensor permite com rapidez, precisão, simplicidade e a baixo custo verificar a qualidade da água, se existem contaminantes, pesticidas, substâncias húmicas e metais pesados.

**APLICAÇÃO:** Indústria de alimento, bebidas e comercialização de frutas in natura

**EMPRESA:** MM Importadora

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Tecidos, cartões de saúde que agregam princípios ativos de medicamentos para dores de cólica e cabeça; tecidos luminosos, lâmpadas que purificam e destroem bactérias venenosas em ambientes. A companhia trouxe para o Brasil também tecidos nanotecnológicos desenvolvidos com fibra ótica capazes de brilhar no escuro

**APLICAÇÃO:** Indústria têxtil

**EMPRESA:** Nanox

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Nanox Barrier: protege superfícies contra processos de corrosão e

abrasão, especialmente a altas temperaturas, e pode ser aplicado em superfícies de formas complexas, como metais, cerâmicas e plásticos. Nanox Clean: *coatings* nanoestruturados aplicados em superfícies que facilitam os processos de limpeza e esterilização, que degradam materiais orgânicos e possuem propriedades biocidas. Aplicado em metais, vidro, cerâmicas e plásticos. Nanox Hidrocell: possibilita sínteses especiais de nanopartículas com formas complexas e controle das condições de contorno. Baseado nos princípios de geotermia, o equipamento traz avanços para síntese de estruturas especiais e materiais inteligentes.

**APLICAÇÃO:** Indústria de vidro, cerâmica, plásticos, metalúrgica

**EMPRESA:** Audi

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Audi A3 Sportback. O veículo utiliza camadas à base de nanotecnologia na cobertura do painel de instrumentos para evitar reflexos da luz externa; retrovisor interno fotocromático, que contém uma camada que escurece quando recebe energias elétricas

**APLICAÇÃO:** Indústria automotiva

**EMPRESA:** Nanotex

**LOCALIZAÇÃO:** DF

**PRODUTO:** Tecidos com propriedade de repelir líquidos

**APLICAÇÃO:** Indústria têxtil

**EMPRESA:** Multivácuo

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Peneiras moleculares aplicadas em processos especiais de absorção, como controle e purificação do ar atmosférico, processos de separação de gases, sistemas industriais que empregam vácuo ou ar comprimido, separação de impurezas orgânicas e recuperação de solventes, em cromatografia gasosa, entre outras

**APLICAÇÃO:** Diversos tipos de indústrias

**EMPRESA:** Brasken

**LOCALIZAÇÃO:** RS

**PRODUTO:** O novo polipropileno, um plástico mais rígido e resistente a impactos que em breve deverá estar disponível para compor painéis e pára-choques de automóveis, gabinetes de aparelhos eletrônicos. Dois outros produtos estão em fase de estudo: a argila nacional e o policloreto de vinila (PVC). Diferencial: possui estrutura nanométrica e resulta em maior resistência a impactos e a quebras.

**APLICAÇÃO:** Indústria automotiva, eletroeletrônico, utilidades domésticas

**EMPRESA:** Rhodia

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Segunda geração de emulsões de nanotecnologia de silicone para indústria têxtil. Essa nova geração difere da primeira por contar com partículas de emulsões menores, o que permite maior interação química dos tecidos com as emulsões e propicia melhores características de conforto,

**APLICAÇÃO:** Indústria têxtil

**EMPRESA:** Natura

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Um novo sistema de liberação controlada, também conhecido como Delivery System. Devido a essa tecnologia, a linha Brumas de Leite de Natura Ekos combina uma hidratação intensa com uma textura leve, fácil de espalhar, de rápida absorção e secagem.

**APLICAÇÃO:** Indústria cosmética

**EMPRESA:** O Boticário

**LOCALIZAÇÃO:** PR

**PRODUTO:** Ativos do Nanoserum: o Comucel é um complexo antienvhecimento que atua na comunicação celular, no que o Boticário chama de “ataque”. Ou seja, é empregado em processos que precisam ser



acelerados como a produção de elastina e colágeno. O outro complexo exclusivo, PrioX-in, age na “defesa”, livrando a pele das agressões ambientais que liberam radicais livres. Por meio da tecnologia de ativação inteligente, ele modula a ação antioxidante conforme as variações de temperatura e radiação.

**APLICAÇÃO:** Indústria cosmética

**EMPRESA:** Cedro

**LOCALIZAÇÃO:** MG

**PRODUTO:** Linha de tecidos técnicos Cedrotech que, desenvolvida a partir de tecnologia exclusivamente nacional, utiliza a nanociência, uma das técnicas mais avançadas do mercado para a fabricação de tecidos inteligentes. O gerente acredita que, cada vez mais, os uniformes serão vistos como equipamento de proteção individual, ou seja, equipamentos de proteção que irão conferir segurança ao profissional, mas sem perda de conforto e funcionalidade.

**APLICAÇÃO:** Indústria têxtil

**EMPRESA:** FGM Produtos Odontológicos

**LOCALIZAÇÃO:** SC

**PRODUTO:** O Opallis, compósito para dentes anteriores e posteriores, disponível em 33 cores e que tem como diferenciais a fluorescência, a opalescência e o maior tempo de trabalho do mercado.

**APLICAÇÃO:** Produtos odontológicos

**EMPRESA:** Bio-Medicin

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** O lipossoma, um princípio ativo que auxilia a redução de gordura localizada. O desenvolvimento do produto é muito caro – cerca de US\$ 20 mil por lipossoma – para ser comercializado em baixa escala.

**APLICAÇÃO:** Indústria cosmética

**EMPRESA:** Nanocore

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Empresa de base tecnológica incubada há quase dois anos na Incubadora Supera, em Ribeirão Preto. Seu negócio concentra-se no desenvolvimento e otimização de produtos e processos farmacêuticos e biotecnológicos, agregando valor e ampliando fronteiras do seu produto.

**APLICAÇÃO:** Indústria farmacêutica, além de veterinária e biotecnológica

**EMPRESA:** Faber-Castell

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Uma grafite de maior resistência, maciez e coloração.

**APLICAÇÃO:** Material escolar

**EMPRESA:** Clariant

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Sandoperm FHL um polidimetilsiloxano modificado cujas características são: um toque extremamente suave não-oleoso: as partículas auto-orientadoras encontram acesso em todas as regiões do material têxtil, cobrindo, portanto, toda a superfície das fibras têxteis (inclusive das fibrilas). Conseqüentemente, não ocorrem saturações excessivas, ou seja, não haverá contaminação oleosa/sebosa da mão pelo toque (o silicone permanece no substrato têxtil e não passa para a mão).

**APLICAÇÃO:** Indústria têxtil

**EMPRESA:** Nanum

**LOCALIZAÇÃO:** MG

**PRODUTO:** Filme anti-risco: produção e aplicação de filme fino em diversas superfícies com propriedade antirisco, antioxidante, bactericida, antirefletor, etc. Cerâmicas especiais: aluminato de lítio (pó ou peça). Pó ultrafino de alumina com zircônia para moldagem. Cerâmicas nanoestruturadas Monocristal de antimônio: crescimento de monocristais para produção de sondas e sensores.

**APLICAÇÃO:** Pós-cerâmicos e filmes finos para vários

**EMPRESA:** Scientia Tecnologia Química (STQ)

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Inicialmente, produzirá um dispositivo químico para tratar água condensada nos sistemas de ar condicionado, objetivando a desinfecção química e biológica do ar realimentado para o ambiente interno.

**APLICAÇÃO:** Aparelhos de ar condicionado

**EMPRESA:** Grupo Eletrocell Células Combustíveis

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Sistemas associados à tecnologia de células a combustível e baterias especiais.

**APLICAÇÃO:** Geração de energia para setor industrial

**EMPRESA:** Laboratório Biosíntesis

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Serviços tecnológicos

ofertados pela empresa: a) ensaios, testes e análises biológicas e toxicológicas pré-clínicas dos seguintes tipos de produtos: farmacêuticos, fitoterápicos, insumos e correlatos, agroquímicos e afins, veterinários; derivados de OGMs; cosméticos e saneantes. b) biocompatibilidade de biomateriais utilizados como dispositivos médicos e odontológicos protéticos e implantáveis; c) pesquisa, desenvolvimento e inovação de metodologias e protocolos em conformidade com as diretrizes da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Organização Internacional para Normalização (ISO).

**APLICAÇÃO:** Indústria química e petroquímica

**EMPRESA:** Ciallyx

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Empresa de base tecnológica dedicada à realização de estudos de eficácia cácia, avaliação de toxicidade e desenvolvimento de ensaios *in vitro* e *in vivo*, para novas moléculas e produtos.

**APLICAÇÃO:** Indústria química e farmacêutica

**EMPRESA:** Dispositivos Semicondutores Discretos (DSD)

**LOCALIZAÇÃO:** MG

**PRODUTO:** Fundada em 2000, é uma das quatro fábricas de semicondutores do país. Voltada para o desenvolvimento e otimização de dispositivos semicondutores a partir de investimentos em nanotecnologia. Um de seus objetivos é criar um satélite brasileiro

**APLICAÇÃO:** Semicondutores, comunicação

**EMPRESA:** Unicamp/Genius Instituto de Tecnologia Parceria com a GRADIENTE e a NOKIA

**LOCALIZAÇÃO:** AM

**PRODUTO:** A iniciativa tem o objetivo de criar aditivos ao acordo para o desenvolvimento de tecnologia nas áreas de multimídia, terminais móveis, TV digital e nanotecnologia.

**APLICAÇÃO:** Eletrônica de consumo, multimídia, terminais móveis, TV digital.

**EMPRESA:** Ciba

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Ela tem produtos para a indústria têxtil que conferem efeito repelente à água e ao óleo, antiodores, antimicrobianos e proteção contra raios ultravioleta aos tecidos. Os mais recentes desenvolvimentos da Ciba com nanotecnologia são a proteção antimicrobiana para fibras celulósicas, como algodão, viscose e modal, e o controle de odores com compostos derivados do açúcar, que tem alta resistência a lavagens.

**APLICAÇÃO:** Indústria têxtil

**EMPRESA:** Aegis Semicondutores

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** O interesse é produzir um *display* monocromático *poled*.

**APLICAÇÃO:** Diversos tipos de indústrias, como a eletroeletrônica

**EMPRESA:** Chemyunion

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** O interesse é por dominar uma tecnologia transdérmica via nanotecnologia e, com isso, ampliar seu portfólio de produtos e aumentar sua competitividade no Brasil e no exterior.

**APLICAÇÃO:** Indústria cosmética

**EMPRESA:** Clorovale Diamantes

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Um *kit* de brocas para uso odontológico com uma camada de diamante em suas pontas e movimento vibratório, e não giratório, como acontece com os instrumentos tradicionais. A durabilidade: as novas brocas duram 30 vezes mais que seus similares convencionais.

**APLICAÇÃO:** Instrumentos odontológicos

**EMPRESA:** EMS

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Uma empresa brasileira que recorre a edital público para dominar a tecnologia de usar nanopartículas como carreadores fármacos com alta disponibilidade farmacocinética e, assim, assegurar sua consolidação no mercado brasileiro.

**APLICAÇÃO:** Farmacêuticos, genéricos, higiene pessoal.

**EMPRESA:** FK-Biotecnologia S. A.

**LOCALIZAÇÃO:** RS

**PRODUTO:** A FK oferece a seus clientes *kits* de imunodiagnóstico com tecnologia própria, a preços competitivos e de qualidade internacional. Além disso conta com uma forte linha de P&D que inclui uma nova vacina celular anticâncer com tecnologia patenteada pela FK, bem como estudos pré-clínicos avançados com vistas a aplicação *in vivo* de anticorpos monoclonais com fins terapêutico e diagnóstico.

**APLICAÇÃO:** Produtos biotecnológicos para a medicina

**EMPRESA:** Indústria Química Taubaté

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Taubarez T 940, um polímero de barreira usado para armazenar alimentos congelados. O Taubarez T 940 é uma dispersão aquosa aniônica de copolímero de estireno butadieno carboxilado. Agora a empresa está interessada na produção de materiais híbridos nanoestruturados, para dar seqüência à sua meta de inovar constantemente.

**APLICAÇÃO:** Indústria de alimentos

**EMPRESA:** Itajara Minérios Ltda.

**LOCALIZAÇÃO:** PR

**PRODUTO:** O interesse da empresa está em desenvolver equipamento inovador para síntese de óxidos nanoparticulados como matéria-prima. Ao que parece, esta é a primeira mineradora no Brasil a ter proximidade com a nanotecnologia.

**APLICAÇÃO:** Diversos tipos de indústria

**EMPRESA:** Vigodent S. A. Indústria e Comércio

**LOCALIZAÇÃO:** RJ

**PRODUTO:** A empresa participou do Edital MCT/Finep nº 01/2006, dedicado à subvenção econômica a empresas, e teve aprovado seu projeto, em que traça como resultado a ser alcançado sua auto-suficiência na fabricação de nanocompósitos.

**APLICAÇÃO:** Mercado odontológico

**EMPRESA:** Petróleo Brasileiro S. A.

**LOCALIZAÇÃO:** RJ

**PRODUTO:** A parceria é com a UFMG e o objetivo é a obtenção de nanocompósitos biodegradáveis derivados da combinação de argilas minerais com blendas polietileno-amido.

**APLICAÇÃO:** Petróleo

**EMPRESA:** Valée

**LOCALIZAÇÃO:** MG

**PRODUTO:** Seu interesse encontra-se no âmbito da nanobiotecnologia. Prova disto foi seu projeto aprovado, que tem por objetivo desenvolver sistemas micro

e nanoestruturados com liberação controlada de vitamina B12 para aplicação veterinária.

**APLICAÇÃO:** Medicamentos veterinários, biotecnológicos.

**EMPRESA:** Cerâmica Sergipe

**LOCALIZAÇÃO:** SE

**PRODUTO:** A produção de revestimentos cerâmicos especiais utilizando nanomateriais pode significar que esta tecnologia poderá ser apropriada por empresas de pequeno porte, fora da grande região dominante na produção de cerâmicas.

**APLICAÇÃO:** Cerâmica e outros tipos de indústrias

**EMPRESA:** Tecnident Equipamentos Ortodônticos Ltda.

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Em função desta concepção é que esta empresa encaminhou projeto e foi contemplada com recursos para desenvolvimento e implantação de brackets cerâmicos de ZRO<sub>2</sub> E AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com adição de pigmentos.

**APLICAÇÃO:** Produtos odontológicos

**EMPRESA:** Biolab Farmacêutica

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** A empresa, situada no município de Itapeçerica da Serra, SP, pretende com a nanotecnologia desenvolver novas formulações utilizando nanodispositivos para tratamento de doenças cardiovasculares.

**APLICAÇÃO:** Fármacos

**EMPRESA:** Biosintética Farmacêutica

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** A Biosintética fabrica fármacos para o combate de diversas doenças; agora está interessada em produzir síntese e nanoestruturação de uma chalcona ativa para tratamento de leishmaniose, cujo projeto foi contemplado no edital de 2004.

**APLICAÇÃO:** Fármacos

**EMPRESA:** Biolab Ltda

**LOCALIZAÇÃO:** RS

**PRODUTO:** Esta empresa gaúcha, que já vinha atuando no campo da biotecnologia, passou também a atuar no campo da nanotecnologia com o objetivo de produzir cosméticos, e por isto encaminhou projeto visando ao desenvolvimento de nanocosméticos.

**APLICAÇÃO:** Indústria cosmética

**EMPRESA:** Óssea Medical Technology

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** O desenvolvimento de biocerâmicas nanoestruturadas para uso clínico como material para regeneração óssea passou a ser o objetivo desta empresa, com seu projeto aprovado e conseqüentes recursos captados.

**APLICAÇÃO:** Implantes cirúrgicos

**EMPRESA:** Biocancer S. A. Centro de Pesquisa e Tratamento do Câncer

**LOCALIZAÇÃO:** MG

**PRODUTO:** O fundamento de estratégias de parceria da empresa é um acordo de colaboração com a UFMG e seu centro médico afiliado, o Hospital das Clínicas (HC/UFMG). A Biocancer teve seu projeto aprovado para desenvolver sistemas nanoestruturados contendo antineoplásticos para tratamento de tumores sólidos e queratoses actínicas.

**APLICAÇÃO:** Indústria farmacêutica, indústria biotecnológica, instituto de pesquisas

**EMPRESA:** Padtec

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** A área de interesse da Padtec em nanotecnologia é em dispositivos ópticos baseados em quantum dots semicondutores.

**APLICAÇÃO:** Sistemas de comunicação ópticos

**EMPRESA:** A Empresa Brasileira de Radiações (Embrarad)

**LOCALIZAÇÃO:** SP



**PRODUTO:** Esta empresa teve seu projeto aprovado para desenvolvimento do PP com alta força do fundido e extensibilidade por meio da síntese de nanogéis de polipropileno.

**APLICAÇÃO:** Radiação, esterilização

**EMPRESA:** Bunge

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** Empresa multinacional que foi licenciada pela Unicamp para a exploração da patente do pigmento branco para tintas Biphor (sigla para Bunge Innovative Products for Hiding Opacity and Refractancy)

**APLICAÇÃO:** Tintas

**EMPRESA:** Ponto Quântico Nanodispositivos

**LOCALIZAÇÃO:** PE

**PRODUTO:** Um exemplo de como a nanotecnologia pode-se beneficiar das soluções de tecnologia de informação (TI) é o software Espectrolux, criado pela Ponto Quântico Nanodispositivos. Santa Cruz afirma que o software foi fundamental para o desenvolvimento das mais novas versões do Dosímetro UV, um produto nanotecnológico que pode ser utilizado no controle, prevenção e diagnóstico do câncer de pele. O software é tão bem-sucedido que foi levado para a EuroForum 2005, na Escócia

**APLICAÇÃO:** Controle, prevenção e diagnóstico de câncer

**EMPRESA:** Incrementha

**LOCALIZAÇÃO:** SP

**PRODUTO:** O primeiro produto da Incrementha que deverá chegar ao mercado é um anestésico de uso tópico para uso em pequenas cirurgias na pele, desenvolvido em parceria com as pesquisadoras Silvia Guterres e Adriana Pohlmann, da UFRGS. A inovação está em uma nanocápsula biodegradável que transporta o medicamento para regiões específicas. “Com o veículo nanotecnológico, o anestésico penetra e se concentra apenas nas terminações nervosas da pele, evitando ser absorvido pela circulação sanguínea e diminuindo as chances dos efeitos colaterais.

**APLICAÇÃO:** Fármacos

Adicionalmente, a empresa Suggar, sediada em Minas Gerais, anunciou recentemente o lançamento da primeira máquina de lavar com conteúdo nanotecnológico.

Desenvolver as nanotecnologias de modo a construir a competitividade das empresas brasileiras é desafio significativo. Tanto devido aos massivos e persistentes investimentos financeiros que se observa em países como os EUA, Alemanha, China e Índia na última década, quanto devido ao grande espectro de esforços de pesquisa nas mais diversas áreas com forte envolvimento empresarial que se observa naqueles países em contraste com as iniciativas mais esparsas, com raras exceções, do caso brasileiro.

O contexto de crise tende a reduzir o ímpeto dos investimentos no hemisfério norte e desaquecer expectativas de mercado, porém, ainda assim os orçamentos governamentais para o setor têm sido mantidos, conforme observado no caso norte americano.

No Brasil o setor empresarial vivencia período de apreensão, comprometimentos dos mercados externos, em especial os de *commodities*; com retração da atividade econômica e redução de postos de trabalho e os investimentos governamentais em C&T serão reduzidos, como já anunciado pelo governo federal.

Neste contexto a definição de prioridades, na alocação dos escassos recursos de fomento, aliado ao seu direcionamento para produções com oportunidades mercadológicas consistentes, pode desempenhar importante função anticíclica.

Em alguns segmentos, como o de cosméticos os investimentos tenderão a permanecer crescentes, embora com menor intensidade do que em tempos de normalidade econômica. Isto porque as projeções deste mercado são de crescimento de 30% ao ano apesar da crise.

No caso desta indústria, embora a coordenação da rede de pesquisas esteja no Rio Grande do Sul, não se prevê uma concentração desta indústria em

torno da UFGRS, tendendo a se concentrar nos mercados consumidores do Sudeste com distribuidores em todo o território nacional.

A indústria de nanomedicina tem seus centros de produção de saber especialmente no Distrito Federal (UNB) e em São Paulo (Projeto Genoma). Porém, também nesse caso não se prevê uma concentração industrial em torno das Universidades, mantendo-se a lógica locacional vigente na indústria de fármacos e outros produtos para a área de saúde: mercados consumidores do Sudeste.

No segmento de produção de energia, para a indústria de petróleo e gás os investimentos são organizados pela Petrobras. Para as energias renováveis as possibilidades locais são diferenciadas. Em se tratando de energia eólica, os investimentos tenderão a se concentrar no litoral das regiões Norte, Nordeste, partes do Sudeste e Sul. A indústria de equipamentos tende inicialmente a se situar no Sudeste, podendo descentralizar-se para o nordeste e para a região sul.

As principais ações para desenvolver a energia eólica no país são: a publicação de edital específico para energia eólica, e fomentar a parceria entre as empresas do setor com empresas estrangeiras com *know-how* nestas produções. Além destas, grandes empresas que demandam energia ou que atuam em setores de elevado impacto ambiental podem participar deste desenvolvimento, a exemplo de empresas mineradoras, siderúrgicas e do setor de papel e celulose.

Em se tratando de energia solar, o potencial de investimentos é todo o território nacional. Existem pesquisas na área em várias regiões do Brasil. Entretanto, considerando a conjunção de investimentos privados e apoio governamental pode-se prever uma tendência de concentração da produção de bens de capital para esta indústria em Minas Gerais.

Para a produção de bioenergia a partir de biorefinarias, as empresas da indústria sucroalcooleira e de papel e celulose são as empresas a se apoiar.

A indústria siderúrgica, no momento, está fortemente impactada pela crise, entretanto numa perspectiva de longo prazo, a produção de aços especiais com o uso de nanotecnologias é nicho de mercado importante. A principal empresa com potencial nesta área é a USIMINAS, bem como outras fornecedoras do setor automobilístico. Para a indústria aeronáutica as ações devem ser nucleadas na EMBRAER, através desta em seus fornecedores.

O desenvolvimento de nanotecnologias para uso na agricultura concentra-se de forma especial na EMBRAPA. A tendência de localização de investimentos correlatos permanece sendo o Sudeste.

Empresas de nanomateriais e de nanocompósitos podem sim serem nucleadas por Universidades e centros de pesquisa e ou distritos industriais, a exemplo de Manaus para eletrônicos, Unicamp e UFSCar no Sudeste e Universidades no nordeste.

Empresas do setor automobilístico, a exemplo da AUDI, as grandes empresas do setor de tintas e as empresas do setor de eletrodomésticos, a exemplo da Gradiente, Nokia e Suggar, podem ser estimuladas, via fomento à inovação e contribuir para o Brasil ganhar e preservar competências em nanotecnologias.

No subitem IV explicitam-se, no âmbito desta Nota Técnica, elementos de proposição de políticas com vistas a subsidiar a elaboração e implementação de uma Iniciativa Brasileira de inovação em Nanotecnologia, na qual o BNDES, como banco de fomento, MCT como coordenador das ações governamentais em Ciência e Tecnologia devem desempenhar papéis fundamentais e aos quais outros ministérios das Minas e Energia; da Agricultura, da Indústria e Comércio e do Meio Ambiente devem se integrar de forma articulada.

#### **IV – 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&N 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&N. Desenvolvimento de uma política ousada e de longo prazo de capacitação de recursos humanos em N & N 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 infra-estrutura 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 infra-estrutura

para análise de risco e para a normatização das atividades e produção de nanotecnologias; e:

8) Na produção de energias renováveis o Brasil apresenta diferenciado potencial, Ações específicas propostas:

- Publicar edital para energia eólica e financiar empresas no setor;
- Priorizar investimentos e parcerias empresariais para energia solar;
- Investir em biorefinarias;
- Investir em eficiência energética nas fontes tradicionais de energia.

Mundialmente, as nanotecnologias representam uma área de crescimento exponencial em termos de investimentos públicos e privados; em número de publicações e de patenteamentos, 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 à esta área, lastreado em ações empresariais e norteados por perspectivas de oportunidades de mercado através da exploração das “janelas de oportunidade” mencionadas..

## Referências

Abernathy, W.J., Utterback, J., 1978. Patterns of industrial innovation. *Technology Review* 80, 41–47.

Afuah, A., Utterback, J.M., 1997. Responding to structural industry changes: a technological evolution perspective. *Industrial and Corporate Change* 6 (1), 183–202.

Almeida, P., Kogut, B., 1999. Localization of knowledge and the mobility of engineers in regional networks. *Management Science* 45 (7), 905–918.

Anderson, P., Tushman, M.L., 1990. Technological discontinuities and dominant designs: a cyclical models of technological change. *Administrative Science Quarterly* 35 (4), 604–633.

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.

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.

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.

Bozeman, B., Mangematin, V., 2004. Editor's introduction: building and deploying scientific and technical human capital. *Research Policy* 33 (4), 565–568.

Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (2008). *Convergência Tecnológica*. Brasília. 2008.

Chen,H.,Li X. and Lin,Y. (2008). Trends in Nanotechnology Patents. *Nature nanotechnology* Vol. 3, March. [www.nature.com/naturenanotechnology](http://www.nature.com/naturenanotechnology).

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.

Dalcomuni, S. M., 2005. Nanotecnologia Inovação Economia. In Martins, P.R. *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente: 1º Seminário Internacional*. São Paulo: Associação Editorial Humanitas.

Dalcomunil, 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.

Dosi, G., 1982. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy* 11, 147–162.

Freeman, C. and Soete, I. (1997) *The Economics of Industrial Innovation*. Third Edition. First Published by Penguin Books, 1974. London, Pinter.

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.

Hill, C.W.L., Rothaermel, 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.

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.

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.

Kostoff, R.N., Stump, J.A., Johnson, D., Murday, J.S., Lau, C.G.Y., Tolles, W.M., 2006b. The structure and infrastructure of the global nanotechnology literature. *Journal of Nanoparticle Research* 8 (3–4), 301–321.

Kuhn, T.S., 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago.

Martins, P. R. (Coordenador) (2007) *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal*. São Paulo, Xamã.

MCT (1997) *Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional, Plano de Ação 2007-2010*. Brasília.

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.

Nano-Initiative – Action Plan 2010 – Federal Ministry of Education and Research. Berlin: VDI Technologiezentrum GmbH, 2007.

Pickstone, J.V., 2001. *Ways of Knowing: A New History of Science, Technology, and Medicine*. University of Chicago Press, Chicago.

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.

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.

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.

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.

The Nanotechnology Opportunity Report. Third Edition. Cientifica, 2008.

The National Nanotechnology Initiative. Executive Office of The President of The United States, Washington, D. C., 2008.

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 Initiative (2008 b) Big Things from a Tiny World. Executive Office of The President of The United States, Washington, D. C., 2009.

Utterback, J.M., Suarez, F.F., 1993. Innovation, competition, and industry structure. Research Policy 22, 1–21.

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.