

## **Empreendedorismo e Inovação**

### **POLÍTICAS PÚBLICAS E SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS NOS PAÍSES SELECIONADOS**

#### **AUTORES**

##### **LUIZ GUSTAVO ANTONIO DE SOUZA**

Universidade de São Paulo

luizgustavosouza@uol.com.br

##### **MÁRCIA REGINA GABARDO DA CÂMARA**

Universidade Estadual de Londrina

mgabardo@sercomtel.com.br

#### **RESUMO**

A nanotecnologia e as nanociências podem promover uma revolução em vários campos científicos e produtivos, gerando uma nova onda de destruição criadora, pois as propriedades das substâncias e produtos na escala nanométrica ou mesmo molecular, diferem se comparadas às suas propriedades em escala tradicional. O artigo realiza uma revisão da literatura de maneira a delinear o estado da arte e analisa as transformações geradas pelas nanociências e pelas nanotecnologias a partir da produção de conhecimento e das patentes em diferentes bases e de políticas públicas e privadas inseridas em um sistema nacional de inovação. A metodologia utilizada é descritiva. Utiliza-se um arcabouço teórico evolucionário para analisar a evolução das nanociências e das nanotecnologias em conjunto com uma coleta de dados secundários referentes à evolução do número de patentes em diferentes áreas do conhecimento científico para identificar a emergência de um novo paradigma tecnológico. O artigo conclui destacando o elevado potencial de transformação e os riscos envolvidos no uso de tecnologias nanométricas e destacando o sucesso da iniciativa em alguns países.

**Palavras-chave:** nanociência, nanotecnologia, inovação.

#### **ABSTRACT**

The nanotechnology and the nanoscience can promote a revolution in various scientific and productive fields, generating a new wave of creative destruction, since the properties of the substances and products in the nanometric and molecular scale differ if compared to their properties in traditional scale. The article realizes a literature's review to delineate the state of the art and analyzes the transformations induced by nanosciences and nanotechnologies in the knowledge and the patents bases due to national innovation systems in selected countries. The methodology of the article is descriptive and uses an evolutionary theoretical skeleton to analyze the evolution of the nanoscience and of the nanotechnologies and the emergency of a technological new paradigm. The article concludes by detaching the potential transformation and the risks wrapped in the use from nanotechnologies and the success of national innovation systems in selected countries.

**Key-Words:** nanoscience, nanotechnology, innovation.

## 1. INTRODUÇÃO

A discussão sobre o impacto das inovações no crescimento econômico não é recente. Schumpeter (1982) articula desenvolvimento econômico e incorporação de inovações radicais ao processo de destruição criadora, que acarretam mudanças no ritmo de crescimento econômico e na estrutura produtiva. As noções de destruição criadora aparecem em diferentes óticas, a exemplo de Sombart e Simon (ANDERSEN et al, 2006). Solow (1957) destaca a possibilidade de mensurar o impacto das mudanças tecnológicas no crescimento econômico, a partir da análise da função de produção agregada, pois o crescimento econômico *per capita* americano só é parcialmente explicado por incrementos na mão-de-obra e no capital. O resíduo de Solow reputa à mudança tecnológica, a parcela do crescimento não explicada por mudanças na mão-de-obra e no capital. Rosenberg (1982) analisa a importância das economias de escala e as mudanças na qualidade da mão-de-obra.

A partir dos anos 70, as inovações nas tecnologias de informação foram responsáveis pela mudança na conformação das estruturas industriais. Nos anos 80, foram as mudanças derivadas da biotecnologia. No novo milênio, a revolução radical nos moldes neoschumpeterianos deve ocorrer a partir do desenvolvimento das nanociências e das nanotecnologias. Stokes (2005) destaca a importância da ciência básica, enquanto precursora do progresso tecnológico. Também reafirma a necessidade de investimentos das nações para conquistar o conhecimento científico básico, a promoção e aceleração do desenvolvimento industrial e o reforço da sua posição competitiva internacional. A despeito do debate acerca dos determinantes da relação economia, inovação e mudança tecnológica ter avançado substantivamente nos últimos 50 anos, os avanços das nanociências resgatam a importância dos investimentos públicos e privados em ciências básicas e seu potencial transformador, no que tange à geração de inovações radicais.

O incremento no volume de publicações científicas nas áreas de Física, Biologia, Química e materiais que destacam o potencial dos novos sistemas e as propriedades em escala nanométrica e molecular, revelando que mudanças invisíveis a olho nu, sinalizam as transformações produtivas que deverão acontecer nas próximas décadas.

A interação entre desenvolvimento tecnológico e a informação, se insere nas limitações das tecnologias de informação, a exemplo da criação de novos *chips* e seus componentes que precisam ser mais ágeis e passíveis de miniaturização contínua para que mais informação seja alocada, ou mesmo a criação de materiais orgânicos que contenham informação. Assim, o efeito do uso da nanotecnologia pode transbordar para quase todos os ramos industriais. As áreas bioquímicas podem se beneficiar desta revolução dada a gama de componentes orgânicos e inorgânicos existentes, e há inúmeras funções que podem ser melhores adaptadas na escala nanométrica, ou seja, um bilionésimo de metro.

O artigo discute a dinâmica evolutiva das nanociências e das nanotecnologias no mundo. A questão de pesquisa que o artigo busca responder é se a análise dos indicadores de nanociência e nanotecnologia permite inferir o potencial transformador, no sentido de destruição criadora idealizado por Schumpeter. A metodologia é descritiva e parte de um arcabouço teórico evolucionário para analisar a evolução das nanociências e das nanotecnologias. Para verificar a evolução das diferentes áreas do conhecimento científico são coletados dados secundários referentes ao número de patentes para identificar a emergência de um novo paradigma tecnológico. O artigo se divide em quatro seções; na primeira apresenta-se a introdução, na segunda a revisão da literatura acerca da inovação e da nanociência. Na terceira parte discutem-se os indicadores do grau de desenvolvimento da nanociência no mundo, para inferir o sucesso dos sistemas nacionais de inovação e suas políticas públicas. Na última parte apresentam-se as considerações finais do artigo.

## 2. NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIAS: O ESTADO DA ARTE

As firmas podem alterar o seu padrão competitivo através de sua capacidade de inovar. Schumpeter (1982) caracteriza a inovação como novo processo, produto, forma de organização, nova fonte de matéria-prima ou novo mercado. Para Bell e Pavitt (1993), a origem do processo inovativo pode envolver inúmeros fatores e depende das características do produto e do mercado. Pavitt (1984) classifica os setores industriais conforme seus padrões inovativos e tecnológicos em quatro categorias de empresas: dominados pelos fornecedores; escala intensiva; fornecedores especializados e baseados em ciência. Bell e Pavitt (1993) acrescentaram a categoria dos setores intensivos em informação para retratar a tendência atual de difusão das tecnologias da informação.

Segundo Andersen et al (2006), Sombart introduz a idéia de destruição criativa, ao analisar o processo no qual a destruição, perceptível nas guerras, gera ondas de criação para substituir ou recriar anteriores formas de bens existentes. O conceito foi resgatado por Schumpeter (1982) para analisar que o impacto das inovações radicais concentradas espacialmente no tempo gera o processo de destruição criadora. Herbert Simon (1982) acredita que a destruição criativa surge das constantes seleções que ocorrem no mercado, sendo a inovação o principal processo e a substituição de velhas formas de processo/produto retiradas devido a esta seleção.

Conforme Simon (1982), a contribuição de Schumpeter (1982) ilustra a destruição que ocorre quando setores e tecnologias tornam-se obsoletos e não lucrativos e novos segmentos industriais e tecnologias permitem auferir rendas monopolistas, originando assim a onda criadora ou criativa, onde existem duas óticas para o mesmo processo, sendo a inovação, agente da transformação econômica.

A análise de Schumpeter (1982) permite compreender o comportamento da dinâmica da economia em quatro situações: a) Equilíbrio inicial – a economia está em equilíbrio com a rotina inserida no comportamento dos agentes e essa sendo seguida através dos anos; b) Inovação – a inovação quebra o equilíbrio, há elevação da produtividade em alguns setores, porém a taxa de inovação gera o desequilíbrio, pois nem todos os agentes conseguem se inserir na dinâmica inovativa; c) Renovação do equilíbrio através da destruição criativa – a inovação por si só não consegue manter as taxas de crescimento da produtividade, assim empresas antigas e com tecnologias obsoletas são excluídas do mercado, surgindo uma onda de destruição criativa, no final há um retorno ao equilíbrio, porém com novas rotinas; e d) Evolução econômica a partir do processo de destruição criativa. As novas condições existentes criadas pela destruição criativa fazem surgir reações sócio-políticas que afetam as antigas relações entre os agentes e estes com o meio. As quatro conformações existentes analisadas por Schumpeter se configuram como ciclos de inovação-destruição na economia.

Tigre (1998, 2005) destaca as teorias econômicas neo-evolucionárias ou neoschumpeterianas que resgatam a importância do progresso técnico como variável-chave na transformação das firmas, dos mercados e das economias, destacando a capacidade de aprendizado. A dinâmica econômica evolucionária é baseada no processo de busca e seleção de inovações de processo, produto e nas formas de organização da produção. A cooperação é fundamental no paradigma evolucionário, assim como as redes de conhecimento que estimulam o aprendizado individual e coletivo, em ambientes cercados de incerteza. As mutações engendram mudanças nas rotinas e procedimentos das firmas e da economia, resultando em novas trajetórias tecnológicas e de crescimento econômico.

O esgotamento da produção nos moldes fordistas permite o surgimento de um padrão novo e flexível baseado no conhecimento, embasado em novas práticas de produção, comercialização e consumo de bens e serviços, novos aparatos e instrumentais científicos e produtivos. Surgem novas formas organizacionais, de gestão e de atuação de instituições. A

redução do tempo de circulação das mercadorias tem levado alguns autores a identificarem tais processos como “economia da inovação perpétua”, elemento fundamental da competitividade dinâmica e sustentável (CASSIOLATO; LASTRES, 2003; TIGRE, 2005). A geração de inovações requer o desenvolvimento da ciência e da pesquisa básica e experimental e são necessárias a aquisição e difusão de conhecimento.

A geração de inovações e o domínio do conhecimento são fundamentais para a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e da competitividade internacional. Logo os países buscam desenvolver mecanismos para incrementar a geração e a difusão das inovações. As instituições públicas e privadas de pesquisa desempenham um papel importante em muitas nações e contribuem para que a ação conjunta entre universidade/empresa/instituições permita alcançar os seus objetivos. A inovação não existe isolada dos mecanismos em si, mas sim determinado por processos de busca e aprendizagem concluindo-se que o sucesso da inovação está na sua forma de interagir, correlacionar o meio (STOKES, 2005).

O processo de inovação é interativo, contando com a contribuição de vários agentes econômicos e sociais que possuem como característica diferentes tipos de informações e conhecimentos. A inovação pode ser classificada em duas categorias: radical e incremental. A inovação radical surge quando há desenvolvimento ou introdução de um novo produto, processo ou mesmo novo formato organizacional; ela acarreta uma ruptura com antigos moldes tecnológicos, mudando seu meio, podendo originar novas indústrias, setores e mercados. A inovação incremental envolve a otimização de processos de produção e as melhorias no *design* de produtos (LEMOS, 1999).

Dosi (1988) caracteriza a inovação como um processo de busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação e adoção de novos produtos, processos e novas técnicas organizacionais. Dosi (1982) sugere duas novas categorias de análise, as trajetórias e paradigmas tecnológicos (ou padrões), a partir da análise dos paradigmas científicos de Kuhn. O paradigma tecnológico é um conjunto de prescrições que definem as direções das mudanças tecnológicas a serem seguidas e aquelas que serão abandonadas, definindo, portanto as oportunidades tecnológicas. As trajetórias envolvem linhas específicas que estão inseridas em paradigmas e permitem a exploração de todas as possibilidades potenciais do paradigma.

Nesse contexto emergem os modelos de Sistemas Nacionais de Inovação de Freeman (1995), Lundvall (1992), Nelson (1993) e Edquist (1997, 2001) e o modelo da Tríplice Hélice de Etzkowitz e Leydesdorff (2000), que permitem analisar e discutir o desenvolvimento via políticas nacionais que focam na inovação, com destaque para a participação da indústria, da universidade e do Estado.

Foray e Lundvall (1996) destacam duas perspectivas na economia baseada no conhecimento: uma identifica um setor que produz novos conhecimentos ou distribui informações e a outra considera a criação e difusão de conhecimento que ocorre em atividades rotineiras na economia (aprendendo-fazendo, aprendendo-usando e aprendendo-interagindo). A versão inicial de Freeman do Sistema Nacional de Inovação destacava uma rede de instituições públicas e privadas que interagiam com o intuito de difundir novas tecnologias, posteriormente há um amadurecimento conceitual (FREEMAN, 1995; FREEMAN; SOETE, 1997). Lundvall (1992) agrega à questão da inovação a questão da aprendizagem. Edquist (2001) destaca a necessidade de desenvolver Sistemas de Inovações (SI), para a produção, a difusão e o uso de inovações de caráter supranacional, nacional e subnacional (regional, local), podendo adquirir uma natureza setorial dentro de demarcações geográficas. As organizações<sup>1</sup> -firmas e não firmas - e instituições<sup>2</sup> compõem o sistema de inovação, segundo Malerba (2002). Os agentes dos sistemas nacionais, setoriais e locais são organizações que se

---

<sup>1</sup> Organizações são estruturas formais com um objetivo explícito e são criadas conscientemente.

<sup>2</sup> Instituições são conjuntos de hábitos comuns, rotinas, práticas estabelecidas, regras, ou leis que regulam as relações e inter-relações entre indivíduos e organizações.

desenvolvem a partir de aprendizados específicos, competências, objetivos, estruturas organizacionais e comportamentos.

Etzkowitz e Leydesdorff (2000) discutem a existência de diversas contribuições teóricas que exploram as possibilidades de reorganizações das relações estado-empresa-universidade e a construção da sociedade do conhecimento: Sistemas Nacionais de Inovação; Sistemas de Pesquisas em transição, o Modo 2, a Dupla Hélice e o Sistema de Pesquisa pós-moderno. A Tríplice Hélice é uma relação instável que contempla a evolução cultural e supera a evolução biológica. Requer o desenvolvimento de redes e organizações entre as hélices e sua configuração não está sincronizada ou pré-determinada. A interação entre elas gera valor adicionado ao reorganizar e harmonizar continuamente as intenções, as estratégias e os projetos necessários ao desenvolvimento e contribuem para o desenvolvimento de programas de pesquisa e inovação.

O modelo sinaliza o estímulo à criação e ao desenvolvimento de sistemas de normatizações, que permitam aos agentes do processo inovativo o apoio à realização de atividades de inovação e disseminação tecnológica. O modelo da Tríplice Hélice repousa na existência de redes científicas e tecnológicas, cuja crescente interação fomenta e retroalimenta o processo de desenvolvimento. O governo atua como elemento fundamental na alavancagem do processo de cooperação, auxiliando o desenvolvimento da estrutura produtiva e da infraestrutura científico-tecnológica, via incentivo governamental e políticas de apoio à inovação tecnológica (DIAS, 2008).

Os termos nanociências e nanotecnologias se referem, respectivamente, ao estudo e às aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menores que, ou da ordem de, algumas dezenas de nanômetros. Nano (do grego: “anão”) é um prefixo usado nas ciências para designar uma parte em um bilhão e, assim, um nanômetro (1 nm) corresponde a um bilionésimo de um metro (ESTEVES et al, 2004).

As origens do termo nanotecnologia emergem em 1956, quando Feynman descreveu como quão vasto é o espaço existente em um botão. O uso do termo atual surge em 1976, utilizado por Norio Taniguchi. (HUANG; NOTTEN; RASTERS, 2008). A data para o surgimento das nanociências e nanotecnologias foi 1981 com a invenção do *Scanning Tunneling Microscope* e as experiências do laboratório de pesquisas da IBM em Zurique (BONACCORSI; THOMA, 2006, 2007). Desde então inúmeros estudos nas áreas químicas, físicas, biológicas e telecomunicações têm sido realizados. Dado o potencial transformador, os setores têm sido alvo prioritário na agenda nacional de desenvolvimento científico e tecnológico e recebem significativos investimentos de governos nacionais.

As nanociências se diferenciam das nanotecnologias, porém a relação estreita que elas sinalizam a análise conjunta. As nanociências são caracterizadas pelos estudos, pesquisas e desenvolvimento científico envolvendo o campo químico, físico, biológico, das engenharias, das tecnologias de informação, entre outros e um dos principais indicadores de sua evolução são as publicações científicas; os resultados podem ser apropriados muitas vezes pelos inventores, na forma de patentes. O número crescente de publicações revela o grau de desenvolvimento setorial. As nanotecnologias, entretanto se caracterizam pela incorporação e criação de novos processos, melhoramentos ou tecnologias não existentes anteriormente e o número de patentes permite avaliar o grau de inovação do setor (ANDERSEN, 2006).

Como destacam Bonaccorsi e Thoma (2006, 2007), há uma relação direta entre as publicações e as patentes e o estudo de sua evolução pode se traduzir em ganhos para as nanociências e desenvolvimento de novas nanotecnologias. Melo e Pimenta (2004) afirmam que a dificuldade ao lidar com os novos conceitos decorrentes do avanço das nanociências e das nanotecnologias se deve à falta de familiaridade com o mundo em escala atômica, ou seja, das dimensões nanométricas.

A grande motivação para o desenvolvimento de objetos e dispositivos nanométricos reside no fato de que novas e incomuns propriedades físicas e químicas que não aparecem para um mesmo material quando de tamanho microscópico ou macroscópico, mas estes são observadas nessa nova escala, com diferentes tipos de aplicações tecnológicas (MELO; PIMENTA, 2004).

Mangematin (2008) caracteriza as nanotecnologias e analisa as características de sua dinâmica, trajetória, infra-estrutura crítica, organização industrial e formas de coordenação ou governança, conforme o quadro 1.

<b>Características da ciência dominante</b>	<b>Física</b>	<b>Ciência da Computação/ TI</b>	<b>Biologia Molecular</b>	<b>Nano convergência</b>
<i>Dinâmica/cristalização (complementariedades cognitivas)</i>	Grandes objetos/sistemas técnicos	Distribuição dos frutos de Propriedade Intelectual (pool de patentes)	Indústria baseada na ciência. Hipótese de competição. Baixo nível de infra-estrutura é necessário . Patenteamento individual e transferências/ licenças	Forma híbrida entre diferentes campos científicos e tecnológicos que anteriormente estavam desconectados. Ligação forte ciência tecnologia
<i>Trajétoria e grau de convergência</i>	Desenho dominante Melhorias cumulativas	Adoção de padrões e design	Competição entre paradigmas	Trajétórias baseadas inicialmente em parentesco da disciplina central (microeletrônica, materiais, biotecnologia); exploração de alternativas de baixo para cima
<i>Infra-estruturas críticas e complementariedades técnicas</i>	Especificidade dos grandes equipamentos	Infra-estruturas genéricas (internet, bandas largas, IPR)	Ausência de barreiras á entrada	Existência de facilidades de pesquisa que se desenvolvem. Plataformas tecnológicas – junções interdisciplinares
<i>Organização industrial</i>	Grandes firmas (monopólio) investimento público	Grandes firmas convivem com pequenas	Criação de firmas start-ups que realizam a ponte entre a academia e a grande indústria próximas ao mercado.	Grandes firmas existentes ( <i>incumbents</i> ), start-ups de alta tecnologia derivadas das ondas anteriores e novas empresas start-ups coexistem
<i>Mecanismos (Modos ) de coordenação e Complementariedades institucionais dirigidas</i>	Grandes programas nacionais (orientados para produtos)	Porogramas tecnológicos. Fortes relações industria-universidade	Redes e clusters (de baixo para cima)	Pólos regionais / distritos científicos Pólos multi-atores e nanodistritos
<i>Principais atores industriais</i>	Grandes programas nacionais Campeões nacionais, especializados em infra-estrutura pública e de serviços	Firmas multinacionais (orientadas para os mercados de massa) e firmas pequenas altamente especializadas	Redes e clusters. Start-ups e Venture Capital nas fases iniciais e concentração ao redor de grandes firmas estabelecidas	Papel central das firmas existentes (firmas globais BtoB e BtoC e ex-start-ups de outras ondas)
<i>Indústrias representivas</i>	Energia nuclear, espacial aeronáutica civil, telecomunicação	Tecnologia da informação e comunicações móveis	Biotecnologia	Incorporação das aplicações nas indústrias existentes

**Quadro 1** – Caracterização das tecnologias.

Fonte: Desenvolvido a partir de Mangematin (2008) e Huang, Notten e Rasters (2008).

A nano convergência sinaliza crescimento vigoroso, concentração em clusters e pólos regionais que envolvem novos países, a semelhança entre autores-inventores atestada pelos inúmeros estudos internacionais sinalizando forte ligação e interação entre ciência/tecnologia. Outro aspecto a ser destacado é a chamada convergência tecnológica. A nanotecnologia permite a abordagem de inúmeras ciências: física, química, medicina, biologia e informática, caracterizando-se por uma abordagem multidisciplinar. Os estudos também sinalizam discrepâncias nos indicadores entre publicações científicas e patentes, alguns preferem o segredo industrial, enquanto outros atores publicam e patenteiam para preservar os direitos autorais (HUANG; NOTTEN; RASTERS; 2008).

A obtenção de objetos e materiais nanométricos pode ocorrer de duas formas; a primeira e mais comum, é de cima para baixo – miniaturização via eliminação de excesso de material como utilização da litografia que compreende principalmente o arcabouço da física e das engenharias-; a segunda forma é de baixo para cima, compreendendo a construção de moléculas e compostos a partir de átomos isolados, construindo um novo componente, a exemplo dos estudos da biologia e da química. (ANDERSEN, 2006).

No próximo tópico analisa-se o desenvolvimento das nanociências em países selecionados e a importância das políticas públicas inseridas em sistemas nacionais de inovação de nanotecnologia.

### **3. DESENVOLVIMENTO DAS NANOCIÊNCIAS E DA NANOTECNOLOGIA NO MUNDO: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS**

A importância das nanociências na economia é crescente, uma vez que essas poderão incrementar não somente a produtividade marginal do capital intrafirmas, mas também elevar a produtividade marginal do trabalho, dadas as melhores condições que os agentes possam ter via desenvolvimento de fármacos e biocomponentes. As nanociências e as nanotecnologias são instrumentos de desenvolvimento que revolucionará a economia, como conhecemos hoje. As nações desenvolvidas estão incentivando e aplicando grandes quantidades de recursos nessas áreas uma vez que estas podem perder sua posição por outras nações que contenham uma tecnologia mais inovadora, embora alguns se preocupem com a possibilidade de uma nano-bolha (ANDERSEN, 2006).

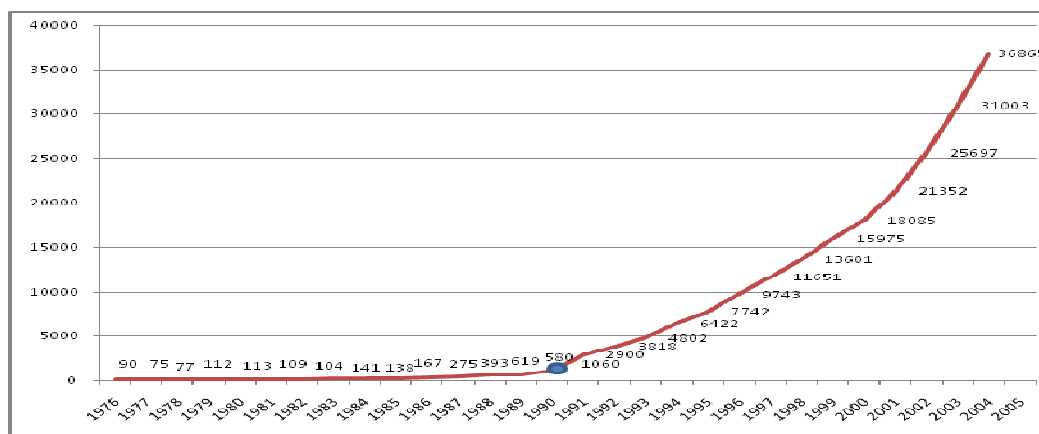
A teoria neo-schumpeteriana destaca a relação entre desenvolvimento econômico e tecnológico e a descontinuidade gerada por inovações radicais em bandos que dão origem ao desenvolvimento econômico, conforme Freeman e Soete (1997). Wonglimpiyarat (2005) destaca o potencial da destruição criadora gerado pelas revolucionárias nanotecnologias.

A nanociência pode ser utilizada para inserir as nações em desenvolvimento em patamares compatíveis aos das nações mais desenvolvidas através da pesquisa e desenvolvimento, fornecendo patentes de produtos a esses países. As políticas públicas voltadas para as nanociências são relevantes uma vez que o benefício poderá ser bem maior no futuro e os riscos se tornam mais conhecidos. As empresas são as grandes requerentes de inovação, apesar de ser uma demanda do consumidor para a indústria, ou seja, jusante à montante, estas tem que estar em constante inovação, inovação incremental, para se manterem no mercado, logo estas já estão se inserindo na era nanotecnológica via P&D e requisição de patentes (BONACCORSI; THOMA, 2006).

Ao analisar as nanociências faz-se necessário o estudo da evolução de publicações qualificadas na área. A intensidade da atividade científica nessa área é verificada através do número de artigos científicos publicados. Em 2003, havia 3 revistas científicas cujo título tinha em sua raiz nanociência ou nanotecnologia; em 2005, existiam 12 (BRAUN *et al.*, 2007 apud LEYDESDORFF, 2007). Em fevereiro de 2009, havia 64 revistas científicas

internacionais focando o tema nanociência e nanotecnologia – na física, biologia, química, computação e materiais - e 46 delas destacando o tema no título (NANOWERK, 2009).

Chen e Roco (2009) e Chen (2007) discutem a pesquisa na base de periódicos da Thomson no período de 1976 a 2004, englobando a coleta de informações em 213.847 artigos. Foram identificados 120.687 primeiros autores, 24.468 instituições, 4.175 revistas científicas/conferências e a participação de 156 países/regiões. Estados Unidos, Japão, Alemanha e Republica Popular da China dominam as publicações científicas internacionais. Os artigos em nanotecnologia e nanociências crescem a partir de 1990 (ver gráfico 1).



**Gráfico 1** - Evolução da produção científica em nanociência e nanotecnologia -1976/2006.

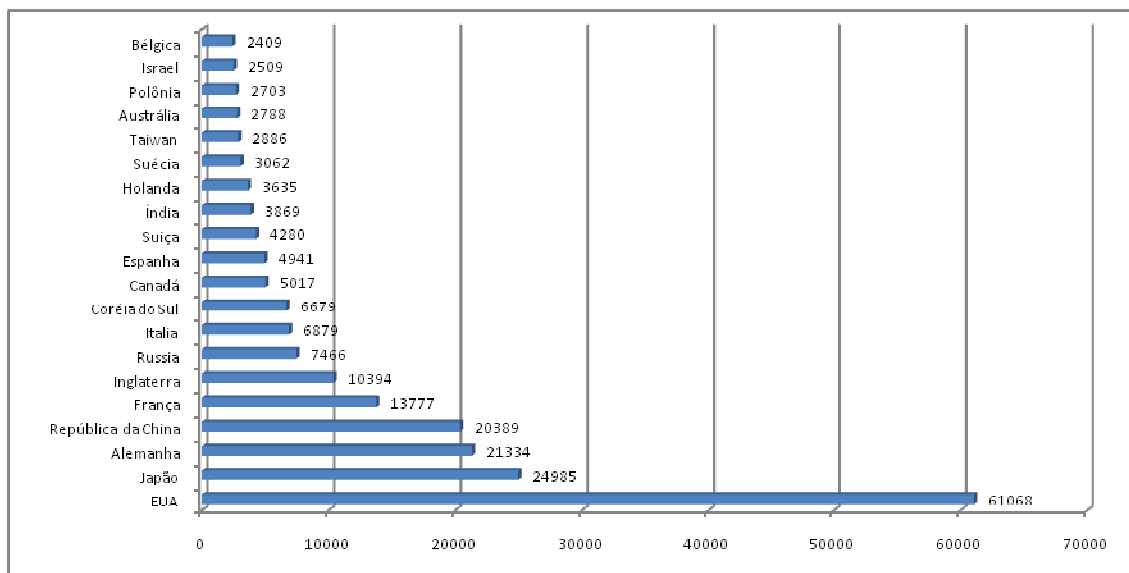
Fonte: Realizado pelos autores a partir de Chen e Roco (2009) e Chen (2007)

No caso da nanotecnologia, Chen e Roco (2009) e Chen (2007) analisam a rede de citações interinstitucionais e verificam a existência de 1.237 instituições que atuam em 66 países em nanotecnologia e realizam publicações e patenteamento. Há interações diretas e indiretas. Foram identificadas 4.440 redes, que se caracterizam pela troca de conhecimentos entre as instituições. Há um coeficiente de aglomeração que supera o coeficiente de ações randômicas, sinalizando a continuidade de trabalhos científicos e produção intelectual, cuja tendência é a realização de clusters de citações.

O gráfico 2 apresenta a participação da produção em nanotecnologia dos periódicos indexados à Thomson SCI, segundo o país de origem do primeiro autor. A dificuldade em identificar o que de fato é contribuição às nanopublicações são as palavras-chave utilizadas.

Os estudos revelaram uma concentração da produção científica na década de 1990 no uso de instrumentos como microscópio eletrônico, fenômenos físicos – superfícies, cristais, ponto quântico, concentrações nanomoleculares, monossuperfícies auto-arranjadas – e meios experimentais – campos elétricos, difração de Raio-X, energias de ativação, entre outros. A partir de 2000 a preocupação dos pesquisadores concentrou-se nos instrumentos – Microscopia de escaneamento e tunelamento, Microscopia de transmissão eletrônica, Microscopia de força atômica – em fenômenos físicos - pontos quânticos, monocamadas auto-rearranjáveis e meios experimentais - solução aquosa e difração de raios-X. O destaque no período após 2000 é a produção em espectroscopia fotoeletrônica de Raios-X, nanotubos de Carbono, deposição de vapor químico e o uso de simulação de Monte Carlo.





**Gráfico 2** - País de origem do primeiro autor de artigos publicados na base *Thomson SCI Nanotechnology Papers*, 1976-2004.

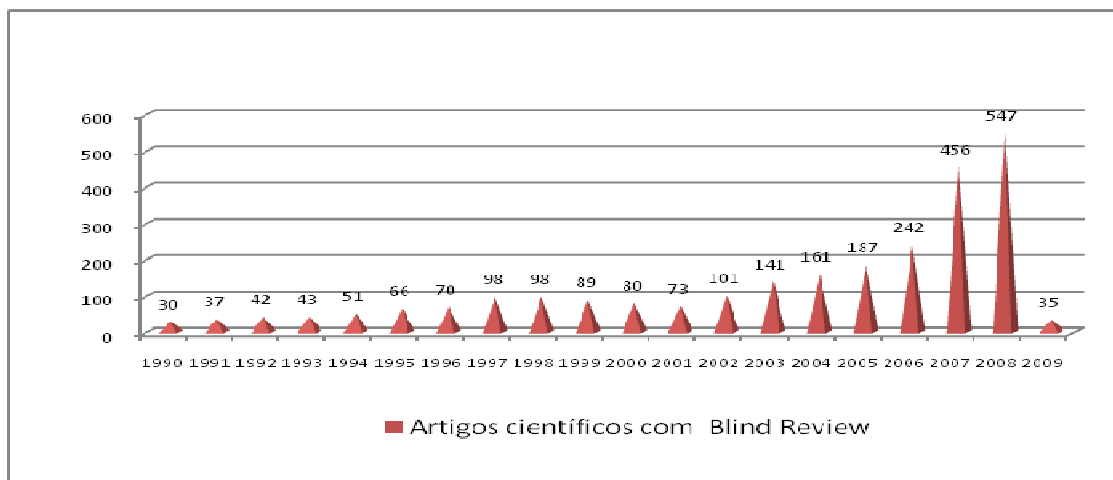
Fonte: realizado pelos autores a partir de Roco e Chen (2009) e Chen (2007).

Leydesdorff e Wagner (2009) verificam a perda de competitividade americana na produção científica mundial - 34% (1995) e 30% (2006) - e a estabilidade europeia - 36% (1995) e 37% (2006) - e o crescimento acelerado da produção científica qualificada chinesa - 3% (1995) e 9% (2006) - e da Coreia do Sul -0,7% (1995) e 2,9% (2006). No caso específico da nanotecnologia e nanociência, a UE-25 perde competitividade - 41% (2002) e 35% (2006) - EUA aumentam lentamente a sua participação - 29% (2002) e 30% (2006) -, enquanto a China amplia a produção científica -10% (2002) e 15% (2006). Leydesdorff e Wagner (2009) e Leydesdorff (2008) destacam o crescimento da produção na área de nanotecnologia.

A participação da República Popular da China (RPC) e Taiwan é crescente no período analisado, enquanto EUA, UE-25 e Japão exibem taxas decrescentes de produtividade científica no período analisado. O trabalho de Leydesdorff e Wagner (2009) permitiu verificar que enquanto a participação dos EUA, EU-25, Japão, França e Israel declinaram, a RPC, Itália, Coreia do Sul, Índia, Taiwan, Austrália e Cingapura ampliaram as suas participações na parcela mundial de citações na base de periódicos Thomson SCI entre 2002 e 2006.

A análise dos programas de estímulo às nanociências e nanotecnologias é um fator importante na recuperação dos indicadores de produtividade científica e patentária no segmento em análise (NNI, 2008). Uma das dificuldades experimentadas para identificar a produção e sua evolução é a definição de termos de busca qualificados, conforme destacado por Porter, Youtibe e Shapira (2006).

Houve um crescimento de artigos publicados em revistas internacionais de nanotecnologia com assessoria externa e alto impacto, conforme o gráfico 3 no período janeiro de 1990 a janeiro de 2009 (ICON, 2009). O lócus de análise vem crescendo e mostrando que os pesquisadores têm procurado aprofundar o conhecimento nestas áreas e há efeito de transbordamento do conhecimento para outras áreas e outras regiões.



**Gráfico 3** – Artigos publicados em revistas científicas selecionadas sobre nanociência e nanotecnologia, utilizando as seguintes partículas: carbonados, metais, óxidos, semicondutores, organo/polímeros.  
Fonte: International Council on Nanotechnology (ICON, 2009), dados coletados pelos autores.

Segundo Leydesdorff (2007), em 2005 já existiam 12 revistas internacionais no campo das nanociências com aplicações nas áreas da física, química, biologia, medicina, engenharia e computação. Entre as revistas científicas com elevado fator de impacto internacional destacam-se: *Nanoscience and nanotechnology* (fator 2.19), *Nano Letters* (fator 9.0), *Small and Lab on a Chip* (fator 6.0), segundo Leydesdorff e Rafols (2009).

A tabela 1 mostra os números de patentes, recuperados do site da USPTO (*United States Patent & Trademark Office*), WIPO (*World International Patent Office*), JPO (*Japan Patent Office*) e EPO (esp@cenet – União Européia) de 1 de janeiro de 1976 a 10 de fevereiro de 2009, por palavra-chave.

As evidências sinalizam o crescimento significativo da produção científica após 2002. Os temas mais pesquisados envolvem nanocompósitos, nanomateriais, nanopartículas entre outros. Os estudos mais recentes preocupam-se com a regionalização da inovação e a localização concentrada de inventores para explicar os retornos crescentes da invenção e da inovação (MARAUT et al, 2008).

A literatura especializada destaca a dificuldade de analisar títulos e resumos a partir de palavras-chave. Após pesquisar estudos que discutiram as principais palavras-chave foram selecionadas palavras em 3 grupos: nanopartículas, nanocompósitos e nanomateriais. A pesquisa na base da USPTO, WIPO, JPO e esp@cenet revelou a preocupação de instituições, empresas e universidades em depositarem patentes nos EUA e em menor grau na União Européia-25 e Japão, ou outras bases de patentes. Também, procurou-se identificar os segmentos ou áreas de aplicação futura com o uso das palavras.

A microscopia, base do desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias declinou sua participação no período recente no número de patentes. Há um crescimento dos nanocompósitos de carbono e de outros materiais, intenso desenvolvimento de nanopolímeros e surgimento de nanopó, nanofios e pontos quânticos. A tabela 1 também revela o desenvolvimento no campo da saúde e do combate ao câncer.

As aplicações em engenharia têm impulsionado o patenteamento em nanopartículas metálicas e magnéticas. A palavra-chave foi inserida na descrição/especificação da patente dos sites: esp@cenet que possui dados das bases da EPO (*European Patent Office*), USPTO (*United States Patent and Trademark Office*), WIPO e Japão (JPO).

As nanopartículas podem contribuir substantivamente para o desenvolvimento de processos e produtos. Seu potencial pode ser inferido pelos crescentes gastos privados e governamentais realizados no período 2004/2005 nos países da União Européia, nos EUA, no

Japão e no resto do mundo. Os gastos cresceram 25,2% na União Européia, 25,7% nos EUA, 17,9% no Japão e 20% no resto do mundo. Os gastos públicos predominam na União Européia, no Japão e no resto do mundo, enquanto nos EUA, os gastos privados lideram os gastos em P&D na área (UNEP, 2007).

O desenvolvimento das atividades de nanociências e nanotecnologias envolvem redes. Em 2003, haviam redes constituídas pelos seguintes parceiros: indústrias, universidades, organizações governamentais, atuam em seus departamentos e/ou laboratórios sob a coordenação de um líder ou parceiro representativo. As maiores redes eram coordenadas por *websides*. Foram identificadas 100 redes com número médio de 27 parceiros envolvidos. Das redes identificadas 60 eram nacionais e 40 internacionais e tais redes poderiam ser financiadas por recursos da União Européia ou não, mas a maioria eram redes temáticas: saúde humana, energia, engenharia, química, meio ambiente e qualidade de vida, etc (EC, 2003).

**Tabela 1** – Patentes depositadas em nanotecnologia, nas bases de patentes USPTO (EUA), esp@cenet (UE), WIPO e JPO, que apresentam no título ou no resumo palavras selecionadas\*.-1976/2009

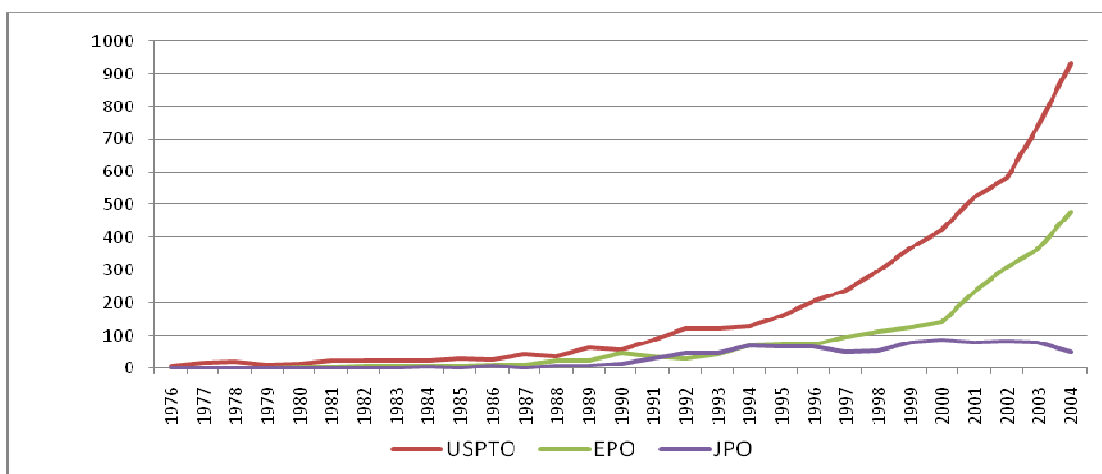
Descrição	USPTO	JPO	WIPO	esp@cenet
<b>Nanocompositos</b>	<b>1.323</b>	<b>6</b>	<b>1.567</b>	<b>89</b>
nanocompositos+fulerenos	89	-	88	-
nanocompositos +nanotubos+carbono	165	3	-	281
nanotubo+de+carbono	-	2.256	-	-
nanocompositos+carvão+preto	291	-	-	205
nanocompósitos+materiais biológicos	11	-	271	-
nanocompositos +nanopó	40	-	-	10
nanocompósitos +nanopolímeros	1.122	55	1.328	-
nanocompósitos +nanofios	58	161	56	46
nanocompositos +ponto quântico	66	532	78	33
nanocompositos +dispersão coloidal	47	1	234	-
nanocompositos + nanocristais	61	13	455	-
<b>Nanopartículas</b>	<b>7.818</b>	<b>980</b>	<b>7.394</b>	<b>681</b>
nanopartículas+ biointeração	3	-	-	-
nanopartículas+ toxicologia	219	-	-	-
nanopartículas+corona	256	2	313	94
nanopartículas +câncer	2.056	7	2.681	4
nanopartículas+diagnóstico	1.315	5	1.638	3
nanopartículas+saúde	1.713	-	2.051	-
nanopartículas+ metal	5.682	367	5.452	25
nanopartículas +carvão	4.776	84	4.436	5
nanopartículas+ magnético	3.042	100	3.340	11
nanopartículas+polímeros	5.341	157	5.330	14
nanopartículas + cristais	2.598	74	2.417	34
nanopartículas + cinética	1.506	-	-	-
nanopartículas+físico-químicas	833	-	-	-
<b>Nanomateriais</b>	<b>590</b>	<b>18</b>	<b>462</b>	<b>13</b>
nanomateriais+genética	80	-	-	-
nanomateriais + carbono	14	16	375	32
nanoestrutura	155	164	189	309
<b>Microscopia de força atômica</b>	-	<b>531</b>	-	<b>42</b>
<b>Microscopia de tunelamento com varredura</b>	-	<b>831</b>	-	<b>3</b>
<b>Modelagem molecular</b>	-	<b>147</b>	-	<b>13</b>

Fonte: EPO, JPO, WIPO e USPTO, dados coletados pelos autores.

\*Dados coletados em 10 de fev de 2009.

O gráfico 4 apresenta a evolução das patentes de nanotecnologia nas diferentes bases de patentes. Há um número maior de patentes nos EUA porque a maioria dos inventores buscam proteção no mercado americano. Em menor grau empresas, universidades e *start-ups* buscam proteção no mercado europeu. A preocupação patentária é menor no mercado

japonês. O Bay-Dohl Act de 1980 estimulou a ação patentária das universidades americanas ao longo do tempo, mas seu efeito tem declinado, conforme Leydesdorff e Meyer (2009).



**Gráfico 4** - Evolução do número de patentes em nanotecnologia – patente pela análise do título e do resumo (denominação “nano”) – USPTO :1976-2004 – USPTO (EUA), EPO (EU-25) e JPO (Japão).

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados de Chen (2007), Li et al (2008), Chen e Roco (2008) e Roco (2007).

No período recente surgiram novos atores na arena internacional. Segundo dados de Chen (2007) e Li et al (2008), os esforços inovativos chineses e coreanos revelam o sucesso recente das políticas nacionais de estímulo às nanociências e nanotecnologias. No entanto, Estados Unidos, Japão, Alemanha e França são os países detentores do maior número de patentes nano, segundo o título, resumo e país no período de 1976/2004 na USPTO.

A taxa de crescimento das patentes na área de nanotecnologia (18% a.a.) supera a taxa de crescimento de patentes (12% a.a.) no período 1995/2005 (EPO, 2008b). As patentes no campo da nanotecnologia representam 1,1% do total das patentes solicitadas e obtidas no período analisado pela instituição. Os países bem sucedidos no campo, dadas as dimensões territoriais e esforços inovativos realizados são Cingapura, Irlanda, Israel, Estados Unidos e Japão porque detêm vantagens comparativas tecnológicas superiores aos demais países: pesquisadores, empresas e capital (público e privado).

A União Européia, o Japão e os Estados Unidos são responsáveis por 84% das patentes obtidas na década analisada pelo estudo. O Japão, detentor de 16,7% das patentes neste campo em 2005, triplica sua participação desde o início do levantamento em 1995. Em 2006, EUA (43%), Japão (15,7%), Alemanha (11,5%), França (6%) representam os principais países detentores de patentes nanotecnológicas. Os países da União Européia (EU-27) participam com 25,4% e os BRICS – Brasil, Rússia, China, Indonésia, Índia e África do Sul – totalizam 2,6% das patentes obtidas. Entre 2003 e 2005, as principais áreas de aplicação das patentes eram nanomateriais (31,1%), eletrônica (23,3%), mensuração e transformação (20,4%), medicina e biotecnologia (14,8%) e, meio ambiente e energia (2,2%).

O entrelaçamento de novas tecnologias em diferentes campos do conhecimento e de atividade tem gerado inclusive a discussão de mecanismos de governança para estabelecer padrões, conter os riscos e potencializar o uso em prol do crescimento econômico das nações (BAINBRIDGE; ROCO, 2006; ROCO, 2007).

As possibilidades que acompanham os estudos da nanociência e das nanotecnologias abrem espaço para discussões éticas referentes aos riscos e sua repercussão. Na escala nanométrica, as reações podem ser imprevisíveis devido às características distintas que os compostos assumem da escala macro e micro. Assim os dados ainda não mostram a eficácia

do controle da nanotecnologia e outros até renegam a possibilidade desta vir ser inserida pelo tamanho impacto negativo que esta possa vir causar. No órgão do governo dos Estados Unidos para a proteção do meio ambiente, pesquisadores relataram que foram encontradas nanopartículas no fígado de animais usados em pesquisas. Segundo a EPA, elas podem vaziar em células vivas e, talvez, entrar na cadeia alimentar através de bactérias.

Fernandes e Filgueiras (2008) e Toma (2004) destacam a possibilidade da perda de controle das nanotecnologias que podem transformar o planeta, mas descartam a idéia do mundo transformar-se em uma gosma cinza - *gray goo* de Drexler -; refutam tal idéia considerando-a futurista. A questão é multifacetária e difícil de ser equacionada em termos internacionais. Não há um padrão de procedimentos de controle nos EUA, no Japão e na Comunidade Européia, embora tenha ocorrido substantivo avanço sobre o reconhecimento dos riscos envolvidos e a necessidade de relatá-los.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo discutiu a evolução e as perspectivas da nanociência e da nanotecnologia em países selecionados a partir do desenvolvimento de sistemas nacionais de inovação em nanotecnologia e países selecionados. As nanociências e as nanotecnologias têm muito a contribuir por meio do desenvolvimento de processos inspirados na natureza, e do ganho em potencial possibilitado pelos nanomateriais, nanomáquinas, nanodispositivos e nanoeletrônica. Contudo, tal ganho de poder precisará ser bem administrado e conduzido, para evitar suas conseqüências perversas, valorizando-se os preceitos éticos, a educação, a consciência, e o humanismo acima de tudo.

As análises dos componentes publicações e patentes permitiu visualizar o desenvolvimento dos países nos setores de N&N, uma vez que o setor se apresenta como promissor, necessitando de maiores investimentos e que se traduzam no médio prazo como indutor de novas tecnologias, facilitando a entrada de novos agentes e diminuindo os custos de produção para os setores correlatos. Pode-se afirmar que o Japão, EU-25 e Estados Unidos foram bem-sucedidos no uso de instrumentos para alavancar as nanociências e as nanotecnologias à luz do enfoque evolucionário, da abordagem do SNI e da abordagem da Trílice Hélice.

Os principais países iniciaram a corrida à nanociência e o número de patentes e artigos publicados revela a liderança dos Estados Unidos nos estudos dessa área e o destaque da China. Os sistemas nacionais de inovação nos países selecionados, apoiados em redes científicas, tecnológicas e produtivas de nanotecnologia incrementaram a produtividade científica e tecnológica, reduziram os custos, em função das economias de escala e escopo exploradas e também intensificaram a cooperação, permitiram a geração e a disseminação dos conhecimentos, tecnologia e produtos, melhorando o bem-estar e elevando as taxas de crescimento nacional.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, M. M. Embryonic Innovation - Path Creation in Nanotechnology. **DRUID Summer Conference**, 2006. Disponível em: <<http://www2.druid.dk/conferences/viewabstract.php?id=703&cf=8>> . Acesso em: 18 de jun. 2006.
- ANDERSEN, E. S.; DAHL M. S.; LUNDVALL, B.; REICHSTEIN, T. "Schumpeter's process of creative destruction and the Scandinavian systems: a tale of two effects". **DRUID Summer Conference**, 2006. Disponível em: <<http://www2.druid.dk/conferences/viewabstract.php?id=703&cf=8>> . Acesso em: 18 de jun. 2006.

- BAINBRIDGE, W.S.;ROCO, M.C. **Managing Nano-bio-info-cogno Innovations: Converging Technologies in Society**. National Science Foundation (U.S.), World Technology Evaluation Center Edition: illustrated . Springer, 2006.
- BELL, M.; PAVITT, K. "Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries". *Industrial and Corporate Change*, v.2, n.2, 1993, p.157-210.
- BONACCORSI, A.;THOMA, G. Institutional complementary and inventive performance in nano science and technology. *Research Policy*.vol.36, p.813-831, 2007.
- BONACCORSI, A.; THOMA, G. "Scientific and technological regimes: Combinatorial inventors and performance in nano science and technology". University of Piza. *LEM Working Paper Series*, 2005/13. March 2006. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/p/ssa/lemwps/2005-13.html>>. Acesso em: 18 de jun. 2006.
- CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. **Arranjos e Sistemas Produtivos Locais na Indústria Brasileira**. In: CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M (Org.) *Parcerias Estratégicas*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.
- CHEN, H., ROCO, M., LI, X.; LIN, Y. Trends in nanotechnology patents. *Nature Nanotechnology*. vol.3,123-125,2008. doi:10.1038/nnano.2008.51. Disponível em <<http://www.nature.com/nnano/journal/v3/n3/abs/nnano.2008.51.html>>. Acesso em: 12 de fev. 2009.
- CHEN, H. Mapping Nanotechnology Innovations and Knowledge: Global and Longitudinal Patent and Literature Analysis. Mumbai, 2007. Disponível em <<http://ai.bpa.arizona.edu/hchen/index.htm>>. Acesso em 12 de fev. 2009.
- DIAS, L.R. **Inovação tecnológica e a Tríplice Hélice: interações em rede entre projetos dos Institutos do Milênio (MCT/2001) e análise das patentes brasileiras registradas no escritório norte-americano (USPTO) após 2004**. (Dissertação de Mestrado). Londrina: PPA UEM/UEL, 2008.
- DOSI, G. The nature of the innovative process. In DOSI, G. et al (eds), **Technical Change and Economic Theory**. London: Pinter Publishers, 1988.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, vol.11, p.147-162, 1982.
- EC (EUROPEAN COMMISSION). *Survey of Networks in Nanotechnology-2003* Disponível em: <[http://www.ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/pdf/euronanoforum\\_surveyofnetworks.pdf](http://www.ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/euronanoforum_surveyofnetworks.pdf)>. Acesso em: 19 de mar. 2008.
- EDQUIST, C. The systems of innovation approach and innovation policy: an account of the state of the art. **DRUID Conference**, Aalborg, jun, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations**. London, Pinter Publishers, 1997.
- EUROPEAN PATENT OFFICE (EPO). ESP@CENET – 2008. Disponível em: <<http://ep.espacenet.com>>. Acesso em: 18 de mar. 2008a
- \_\_\_\_\_. **Compendium of Patent Statistics**. OCDE, 2008b.
- ESTEVES, A. C. C; BARROS-TIMMONS, A.; TRINDADE, T. Nanocompósitos de matriz polimérica: estratégia de síntese de materiais híbridos. *Química Nova*, vol.27. p.798-806,2004.
- ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from national systems and "mode 2" to a triple helix of university-industry-government relations. *Research Policy* 29(2) 109-123, 2000. Disponível em <<http://users.fmg.uva.nl/lleydesdorff/rp2000/>> Acesso em 12 de fev. 2009.
- FERNANDES, M. F. M.; FILGUEIRAS, C. A. L.. Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios). *Quím. Nova [online]*. 2008, vol. 31, no. 8, pp. 2205-2213. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422008000800050&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000800050&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 13 de fev. 2009.

- FORAY, D.; LUNDEVALL, B. The knowledge-based economy: from the economics of knowledge to the learning economy, **DRUID Conference**, Aalborg, jun 1996.
- FREEMAN, C.; SOETE, L., **The Economics of Industrial Innovation**, 3ª ed., Londres: Pinter, 1997.
- FREEMAN, C. The National System of Innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**. vol.19, n.1, p.5-24, 1995.
- HUANG, C.; NOTTEN, A.; RASTERS, N. Nanotechnology publications and patents: a review of social science studies and search strategies. Working Paper Series 2008-058, 2008. Disponível em <<http://www.merit.unu.edu/publications/wppdf/2008/wp2008-058.pdf>>. Acesso em 21 de fev. 2009.
- ICON - INTERNATIONAL COUNCIL ON NANOTECHNOLOGY, **Nano-EHS Database Analysis Tool**, 2009. Disponível em <<http://icon.rice.edu/report.cfm>>. Acesso em 10 de fev. 2009.
- LEMOES, C. **Inovação na era do Conhecimento**. In: LASTRES, H; ALBAGLI, S. de (Org.). *Informação e Globalização na era do Conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1999. p. 48-72.
- LEYDESDORFF, L.; RAFOLS, I. **A Global Map of Science Based on the ISI Subject Categories** *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 60(2) (2009) 348-362. Disponível em: <<http://users.fmg.uva.nl/lleydesdorff/map06/texts/index.htm>>. Acesso em: 12 de fev 2009.
- LEYDESDORFF, L.; WAGNER, W. Is the United States losing ground in science? A global perspective on the world science system (updated for 2006), *Scientometrics* 78(1) (2009) 23-36. Disponível em: <[http://users.fmg.uva.nl/lleydesdorff/us\\_science/index.htm](http://users.fmg.uva.nl/lleydesdorff/us_science/index.htm)>. Acesso em 16 de fev. de 2009.
- LEYDESDORFF, L., **The delineation of nanoscience and nanotechnology in terms of journals and patents: a most recent update**. *Intellectual and Laboratory Dynamics of Nanoscience and Nanotechnology Workshop*, Paris, 27-28 April 2007. Disponível em: <<http://users.fmg.uva.nl/lleydesdorff/>>. Acesso em 12 de fev. 2009.
- LEYDESDORFF, L.; MEYER, M. **The Decline of University Patenting and the End of the Bayh-Dole Effect**. Disponível em <<http://users.fmg.uva.nl/lleydesdorff/Bayh-Dole/index.htm>>. Acesso em 25 de fev, 2009.
- LI, X; HU, D.; DUNG, Y.; CHEN, H.; CHEU, H.; ROCO, M.C.; LARSON, C.; CHAN, J. NanoMapper: Na Internet knowledge mapping system for nanotechnology development. *J. Nanopart Research*. Vol. 2008, Disponível em: <[http://icadl.org/go/intranet/papers/Li\\_JNR\\_08.pdf](http://icadl.org/go/intranet/papers/Li_JNR_08.pdf)>. Acesso em: 12 de fev. 2009.
- LUNDEVALL, b. **National Systems of Innovation**: Towards a theory of innovation and interactive learning. London, Pinter Publishers, 1992.
- MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research policy**, vol. 31. p.247-264, 2002. Disponível em: <<http://www.azc.uam.mx/socialesyhumanidades/06/departamentos/relaciones/Pdf.%20De%20curso%20de%20MESO/Malerba2002-Sistemas%20sectoriales.pdf>>. Acesso em: 22 de fev. 2009.
- MANGEMATIN, V., Emergence des nanotechnologies, quels modèles? *Revue Droit Sciences et Techniques*, forthcoming. Disponível em <[http://www.mangematin.org/VM\\_Articles\\_publicies](http://www.mangematin.org/VM_Articles_publicies)>. Acesso em 22 de fev. 2009.
- MARAUT, S.; DERNIS, H.; WEBB, C. ;SPIEZA, V.;GUELLEC,D. The OCDE REGPAT Database: a presentation. STI Working Paper 2008/2. Statistics Analysis of Science, Technology and Industry. OCDE, 2008. Acesso em: 22 de fev. 2009.
- MELO, C. P. de; PIMENTA, M. **Nanociências e Nanotecnologia**. In: *Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos*. nº. 18, agosto 2004. Brasília: CGEE, 2004. Acesso em: 23 de fev. 2009.
- NANOWERK Disponível em <[http://www.nanowerk.com/phpscripts/n\\_periodicals.php](http://www.nanowerk.com/phpscripts/n_periodicals.php)>. Acesso em 10 de fev. 2009.

- NELSON, R. **National Innovation Systems: a comparative analysis**. New York, Oxford University Press, 1993.
- NNI - PRESIDENT'S COUNCIL OF ADVISORS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY **The National Nanotechnology Initiative: Second Assessment and recommendation of National Nanotechnology Advisory Panel**. Washington, 2008. Disponível em <[http://www.ostp.gov/galleries/PCAST/PCAST\\_NNAP\\_NNI\\_Assessment\\_2008.pdf](http://www.ostp.gov/galleries/PCAST/PCAST_NNAP_NNI_Assessment_2008.pdf)>. Acesso em 16 de fev. 2009.
- OECD - ORGANIZATION FOR ECONOMICS AND CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Opportunities and risks of Nanotechnologies**. 2005. Disponível em: <<http://www.oecd.org/>>. Acesso em: 10 de nov. 2005.
- \_\_\_\_\_. **The OECD Compendium of Patent Statistics**. European Patent Office, 2008. Disponível em: <<http://www.oecd.org/>>. Acesso em: 10 de fev. 2009.
- PAVITT, K. "Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory". *Research Policy*, v.13, 1984, p.343-373.
- PORTER, A. ; YOUTIBE, J.; SHAPIRA, P. Refining search terms for nanotechnology. Arizona State University, NSF. CNS-ASU, 2006. Disponível em <<http://cns.asu.edu/cns-library/documents/Porter-Shapira%20Nano%20Search%20Briefing%20Paper.pdf>>. Acesso em: 20 de fev. de 2009.
- ROCO, M. Long view for nanotechnology R&D. **American Academy of Nanomedicine Symposium**, 2008. Disponível em <[http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/NNI\\_08-0906\\_Roco@Nanomedicine\\_LongViewUS\\_50sl.pdf](http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/NNI_08-0906_Roco@Nanomedicine_LongViewUS_50sl.pdf)>. Acesso em 13 de fev. de 2009.
- ROCO, M. **Governance of Converging new Technologies**. National Science Foundation, National Nanotechnology Initiative, and International Risk Governance Council. Portland, 2007.
- ROSENBERG, Nathan. **Inside the black box: technology and economics**. New York: Cambridge University Press, 1982.
- SÁENZ ; T.W. SOUZA-PAULA, M.C **Convergência Tecnológica**. Brasília. Centro de gestão e Estudos Estratégicos, 2008.
- SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1982.
- SOLOW, Robert. Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, Aug. 1957.
- STOKES, D. **O Quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica**. Campinas: Unicamp, 2005.
- THOMA, G. Cross-Pollination in Science and Technology: The Emergence of the Nanobio Subfield. *Druid Summer Conference 2006*. Disponível em: <<http://www2.druid.dk/conferences/viewabstract.php?id=438&cf=8>>. Acesso em 18 de jun. 2006.
- TIGRE, P. B. Inovação e teorias da firma em três paradigmas. *Revista de Economia Contemporânea*. n.º.3, p. 67-111, jan-jul 1998.
- TIGRE; P. B. Paradigmas Tecnológicos e Teorias Econômicas da Firma. **Revista Brasileira de Inovação**. Vol.4, n.º. 1, p.187-223, jan-jul2005.
- TOMA, H. E. Interfaces e organização da pesquisa no Brasil: da Química à Nanotecnologia. *Química Nova*. São Paulo vol.28 supl.0 p.548-555, nov-dec. 2005.
- TOMA, H. E. **Ética e humanismo em nanotecnologia**. In: *Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos*. n.º18, agosto 2004. Brasília: CGEE, 2004.
- UNEP (United Nations Environment Programme) Emerging challenges: Nanotechnology and the environment . GeoYearBook, Disponível em: <[http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2007/PDF/7\\_Emerging\\_Challenges\\_72dpi.pdf](http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2007/PDF/7_Emerging_Challenges_72dpi.pdf)>. Acesso em 15 de fev. 2009.
- USPTO – United States Patent & Trademark Office. 2005. Disponível em: <<http://patents.uspto.gov/>>. Acesso em: 28 de nov. 2005.
- WONGLIMPIYARAT, J. The nano-revolution of Schumpeter's Kondratieff Cycle; *Technovation*, p. 1349-1354, nov. 2005.