

ÁREA 7. Trabalho, Indústria e Tecnologia
SUBÁREA 7.2. Economia industrial, serviços, tecnologia e inovações
Sessões Ordinárias

Nanociências, nanotecnologias e políticas públicas em países selecionados

Marcia Regina Gabardo da Camara¹
Luiz Gustavo Antonio de Souza²
Márcia Gonçalves Pizaia³
Ângelo Rondina Neto⁴

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 objetivo do artigo é discutir a evolução das nanociências e das nanotecnologias em países selecionados e o papel das políticas públicas, no desenvolvimento setorial, à luz do referencial evolucionário. 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 nos países desenvolvidos e Brasil. 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 produção científica e 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 a significativa evolução a partir dos indicadores selecionados: produção científica e patente.

Palavras-chave: nanociência, nanotecnologia, inovação.

Códigos JEL: O3; O31.

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 to analyze the evolution in developed countries and Brazil. The methodological approach used is descriptive and uses an evolutionary theoretical skeleton to analyze the evolution of the nanoscience and of the nanotechnologies and the emergency of

¹ Professora Doutora do Mestrado em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina.
mgabardo@sercomtel.com.br.

² Doutorando em Economia Aplicada pela Universidade de São Paulo – ESALQ/USP.
luizgustavoeco@gmail.com.

³ Professora Doutora do Mestrado em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina. pizaia@uel.br

⁴ Graduando em Ciências Econômicas pela Universidade Estadual de Londrina.

a technological new paradigm. The article concludes by detaching the potential transformation viaduct and the risks wrapped in the use from nanotechnologies.

Key-Words: nanotechnology, nanoscience, innovation.

JEL-Codes: O3; O31.

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).

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 neo-schumpeterianos e o surgimento de um novo paradigma envolve o desenvolvimento das nanociências e das nanotecnologias e a convergência das nanotecnologias com as biotecnologias, a informática e as ciências da cognição. 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. Apesar 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.

Nano é derivado do grego “anão” e 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. O volume de publicações científicas nas áreas de Física, Biologia, Química e materiais sinaliza o potencial dos novos sistemas e as propriedades em escala nanométrica e molecular (SILVA,2009). As principais aplicações encontram-se na medicina, na indústria, na agricultura, nas telecomunicações, nas tecnologias de informação e nas ciências aeroespaciais

5.

⁵Na base da Thomson Reuters são identificadas 33 revistas em janeiro de 2010: publicações específicas, multidisciplinares, transdisciplinares na área de nanotecnologia e nanociência.

A interação entre desenvolvimento das N&N, as biotecnologias, a informática e as ciências da cognição potencializa o efeito do uso da nanotecnologia, que pode transbordar para quase todos os ramos industriais. Toma (2005) ressalta que as propriedades das partículas em escala nanométrica diferem das existentes nas escalas usuais, como as micrométricas, através das alterações nos padrões cromáticos, físico-químicos, grau de reação e catalisação, entre outras características. O desenvolvimento das nanociências está limitado pelo prosseguimento ou não dos estudos referentes à nanotecnologia, atividade que envolve incerteza e onde a previsão *ex-ante* é limitada quanto às possíveis reações na escala atômica.

O artigo discute a dinâmica evolutiva das nanociências e das nanotecnologias nos países desenvolvidos e no Brasil. 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 e se a análise dos indicadores de desempenho selecionados – análise bibliométrica e patentiária – evidencia o sucesso das políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento nanocientífico e nanotecnológico. O objetivo do artigo é discutir a evolução das nanociências e das nanotecnologias em países selecionados e o papel das políticas públicas, no desenvolvimento setorial, à luz do referencial evolucionário. 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 seis seções: introdução; procedimentos metodológicos; revisão da literatura acerca da inovação e da nanociência; indicadores selecionados do grau de desenvolvimento da nanociência e nanotecnologias no mundo e no Brasil; riscos, ética e governança; e considerações finais do artigo.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do artigo e a coleta de informações envolvem uma revisão de literatura sobre inovação e nanotecnologia a partir de um referencial evolucionário e uma pesquisa empírica cujos procedimentos são explicados a seguir. A base de dados utilizada para identificar as revistas de nanotecnologia e nanociências é a base *Nanowork*, que disponibiliza informações sobre publicações científicas e não científicas no campo em análise.

Para a realização da coleta de dados bibliométricos internacionais até dezembro de 2009, são identificados os títulos e a evolução do número de artigos em publicações qualificadas na área, em revistas científicas (*journals* com *peer review*) da Base ICON (2010).

A coleta de informações a partir de palavras-chaves para identificar as transformações operadas nas nanociências e nanotecnologias segue as recomendações de Porter, Youtibe e Shapira (2006), Chen (2007), Li et al (2008), Chen et al (2008) que apresentam os termos mais comuns identificados na literatura acerca de nanociência e nanotecnologia. Para avaliar a produção nanotecnológica uma vez identificadas as palavras-chaves, procuram-se as palavras no título e/ou resumo das patentes nas bases de patentes da USPTO, Esp@cenet, JPO e WIPO entre 1976 e janeiro de 2010.

A coleta de informações sobre nanociências e nanotecnologias no Brasil é realizada inicialmente na base de dados do CNPQ – Censo de Grupos de Pesquisa nos anos de 2000, 2003, 2004, 2006 e 2008 - e procura identificar o número de grupos que atuam em nanociências e nanotecnologias com o uso das mesmas palavras-chaves (título do grupo e/ou linha de pesquisa e/ou palavra-chave da linha), número de pesquisadores, estudantes e produção científica tecnológica. As informações sobre patenteamento são feitas no INPI utilizando as mesmas palavras-chaves para identificar o sucesso das políticas públicas de incentivo às nanociências e as nanotecnologias no Brasil após 2000, envolve as informações publicadas até janeiro de 2010.

3. 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 um novo processo, produto, forma de organização, nova fonte de matéria-prima ou novo mercado. Para Bell e Pavitt (1993), a origem do processo inovativo envolve 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: dominadas 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. Segundo Herbert Simon (1982), 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 se configuram como ciclos de inovação-destruição na economia.

Tigre (1998, 2005) destaca as teorias econômicas neo-evolucionárias ou neo-schumpeterianas 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 à aquisição e à difusão de conhecimentos. Assim o domínio do conhecimento é fundamental 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 e acarreta ruptura com antigos moldes tecnológicos, mudando seu meio, podendo originar novas indústrias, setores e mercados. A inovação incremental envolve otimização de processos de produção e 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) e a abordagem do aprendizado, Nelson (1993) e Edquist (1997, 2001) e o modelo da Tríplice Hélice de Etzkowitz e Leidesdorff (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.

Para Foray e Lundvall (1996) há 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 destaca a rede de instituições públicas e privadas que interagem com o intuito de difundir novas tecnologias e promovem a geração de inovação de forma contínua, endógena; posteriormente, há um amadurecimento conceitual (FREEMAN, 1995; FREEMAN; SOETE, 1997).

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 organizações⁶ - firmas e não firmas - e instituições⁷ compõem o sistema de inovação (MALERBA; 2002).

Os agentes dos sistemas nacionais, setoriais e locais são organizações que se desenvolvem a partir de aprendizados específicos, competências, objetivos, estruturas organizacionais e comportamentos.

Etzkowitz e Leidesdorff (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 no desenvolvimento da estrutura produtiva e da infraestrutura científico-tecnológica, via incentivo governamental e políticas de apoio à inovação

⁶ Organizações são estruturas formais com um objetivo explícito e são criadas conscientemente.

⁷ Instituições são conjuntos de hábitos comuns, rotinas, práticas estabelecidas, regras, ou leis que regulam as relações e inter-relações entre indivíduos e organizações.

tecnológica. A seguir analisam-se as nanociências e as nanotecnologias (N&N) à luz da teoria evolucionária.

A nanociência busca entender a razão para a mudança de comportamento dos materiais da escala macroscópica para escala nanométrica, os princípios das moléculas e estruturas, e a nanotecnologia utiliza as novas propriedades que ocorrem na escala nanométrica para o desenvolvimento de produtos e dispositivos, com diferentes tipos de aplicações tecnológicas em dispositivos de dimensões nanométricas. Essa ciência aplica-se ao estudo de “materiais e fenômenos físicos, biofísicos e bioquímicos” dimensionados entre 1 e 100 nanômetros. A nanotecnologia engloba “o desenvolvimento de pesquisas e tecnologia “cuja finalidade é” conhecer os fenômenos e os materiais em nanoescala e criar estruturas, mecanismos e sistemas que possuam novas propriedades e funções devido às suas dimensões pequenas” (SILVA, 2009, p.23).

As nanociências são caracterizadas pelos estudos, pesquisas e desenvolvimentos científicos envolvendo os campos químico, físico, biológico, das engenharias, das tecnologias de informação, ciências cognitivas entre outros e um dos principais indicadores de sua evolução são as publicações científicas específicas, multidisciplinares e transdisciplinares⁸; os resultados podem ser apropriados muitas vezes pelos inventores, na forma de patentes (NNI, 2009).

A microscopia de tunelamento é a base do desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias nos anos 80; no período mais recente, novos métodos e técnicas, como a microscopia de força atômica, contribuíram para o desenvolvimento de estudos nas áreas químicas, físicas, biológicas e telecomunicações que confirmam o potencial transformador. As N&N têm sido alvo prioritário nas agendas nacionais de desenvolvimento científico e tecnológico e recebem significativos investimentos (SILVA, 2009; BONACCORSI; THOMA, 2006, 2007).

Há incorporação e criação de novos processos, melhoramentos ou tecnologias não existentes anteriormente, sendo o número de patentes uma medida que serve para avaliar o grau de inovação do setor (ANDERSEN, 2006). Segundo Bonaccorsi e Thoma (2006, 2007), há uma relação direta entre as publicações e patentes e o estudo de sua evolução contribui para o desenvolvimento das nanociências e das novas nanotecnologias.

⁸ A pesquisa exploratória em janeiro de 2010 na base de dados da **Thomson Reuters**, **Wiley InterScience** e **RSC Publishing** revela 35 publicações científicas classificadas como journal, *peer reviewed*.

A obtenção de objetos e materiais nanométricos pode ocorrer de duas formas: a) a de cima para baixo, ou seja, a miniaturização, que compreende principalmente o arcabouço da física e das engenharias; e b) de baixo para cima, compreendendo a construção de moléculas e compostos a partir de átomos isolados, construindo um novo componente, a exemplo de estudos de biologia e química (MELO; PIMENTA, 2004).

As principais áreas de aplicação e desenvolvimento da nanotecnologia, segundo Toma (2005) são: nanoeletrônica; nanofármacos; nanomateriais na mecânica; nanomateriais na óptica e na nanomagnética. Há muitas oportunidades advindas da aplicação da nanotecnologia. Galembeck e Rippel (2004) descrevem as principais áreas de aplicações e os produtos que podem sofrer um impacto a partir dos nanocompósitos: indústria de embalagens, adesivos com aplicações industriais e domésticas, tintas e vernizes, indústria de papel e celulose, farmacêutica, cosméticos, automobilística e de equipamentos para a distribuição de combustíveis, construção civil, entre outras.

A nanotecnologia permite a abordagem de inúmeras ciências: física, química, medicina, biologia e informática. Mangematin (2008) caracteriza as nanotecnologias, a partir das características de sua dinâmica, trajetória, infra-estrutura crítica, organização industrial e formas de coordenação ou governança. Em 2008, o mercado mundial de N&N totalizou US\$ 35 bilhões, podendo atingir US\$ 43 bilhões em 2010; o impacto final, pode alcançar US\$ 3 trilhões em 2015 (BMBF, 2009).

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. Os estudos destacam as discrepâncias nos indicadores de publicações científicas e patentes porque alguns atores preferem o segredo industrial e outros publicam e patenteiam para preservar os direitos autorais (HUANG; NOTTEN; RASTERS; 2008).

4. DESENVOLVIMENTO DAS NANOCIÊNCIAS E DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL E NO MUNDO: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

A importância das nanociências na economia é crescente, uma vez que 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 já estão revolucionando a economia. As nações

desenvolvidas estão incentivando e aplicando grandes quantidades de recursos na nanotecnociência para manter a liderança tecnológica (ANDERSEN, 2006).

Elevados recursos públicos foram investidos em programas de nanociências e nanotecnologias a partir de 1997 no mundo desenvolvido. Os maiores investimentos são realizados pelos EUA, países da União Européia (UE) e Japão. Em 1997, foram aplicados nos EUA US\$ 126 milhões e 200 milhões de euros na UE. No início do século XXI, foram implementados os planos de desenvolvimento das N&N nos países desenvolvidos. Nos EUA, as Iniciativas Nacionais em Nanotecnologia - 1ª. NNI e 2ª. NNI - coordenam e orientam a ação das redes de pesquisadores envolvidos e os recursos aplicados se elevam de US\$ 697 milhões (2002) para US\$ 989 milhões (2004) e a partir de 2005, são aplicadas cifras bilionárias, estando previstos US\$1,639 bilhão para o ano de 2010 (NNI, 2010, 2009, 2008; ZANETTI-RAMOS; CRECZYNSKI-PASA, 2008).

Na Comunidade Européia, as cifras se elevam para 500 milhões de euros anuais no século XXI (EPO, 2008). A Estratégia de Lisboa revela a percepção do papel estratégico dos setores no **6º. Programa Quadro de Pesquisa** (2002-2006) que libera 1,3 bilhões de euros, representando 30% das despesas em N&N da Comunidade. O **7º. Programa Quadro de Pesquisa** (2007-2013) disponibiliza 3,5 bi de euros (EUROPA, 2010).

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). O potencial criador e destruidor das N&N é discutido a seguir.

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, mas o mercado consumidor tem respondido satisfatoriamente, retroalimentado e incentivando a inovação incremental (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, foram identificadas 3 revistas científicas cujo título tem em sua raiz nanociência ou nanotecnologia; em 2005, foram 12 (LEYDESDORFF, 2007). Em janeiro de 2010, 69 revistas científicas internacionais focam o tema nanociência e nanotecnologia – na

física, biologia, química, computação e materiais - e 46 delas destacam o tema no título (NANOWERK, 2009).

Chen et al (2008) e Chen (2007) discutem a pesquisa na base de periódicos da Thomson entre 1976 e 2004 e identificam 213.847 artigos, 120.687 primeiros autores, 24.468 instituições, 4.175 revistas científicas/conferências e a participação de 156 países/regiões. Estados Unidos (61.068), Japão (24.985), Alemanha (21.334) e República Popular da China (20.389) dominam as publicações científicas internacionais. Os artigos em nanotecnologia e nanociências crescem a partir de 1990. Em 1980 são publicados 113 artigos em congressos e revistas; em 1990, 580 ; em 1995, mais de 6.300 e em 2005, 36.865 publicações.

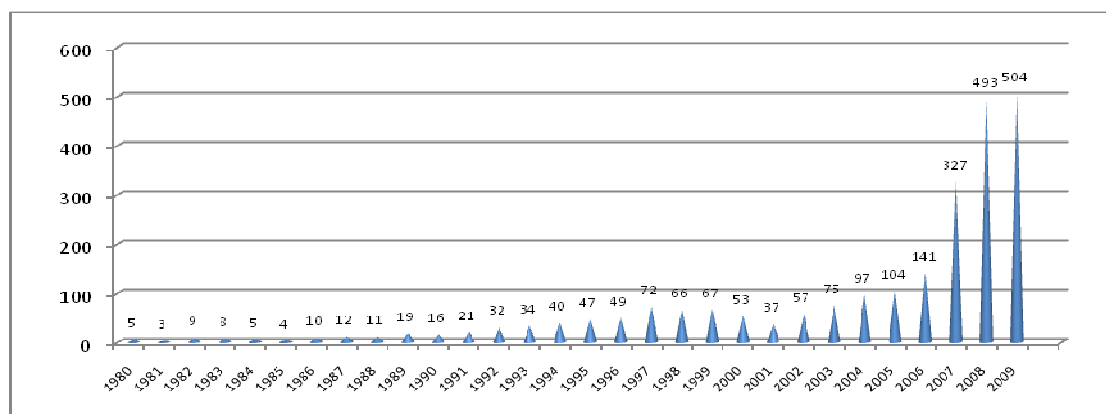
No caso da nanotecnologia, Chen et al (2008) e Chen (2007) analisam a rede de citações interinstitucionais e verificam a existência de 1.237 instituições que atuam em 66 países em nanotecnologia e realizam publicações e patenteamento. Há interações diretas e indiretas em 4.440 redes, que se caracterizam pela troca de conhecimentos entre instituições públicas e privadas. 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.

Uma dificuldade em identificar o que de fato é contribuição para as nanopublicações são as palavras-chave utilizadas. Há a necessidade de pesquisar em artigos de periódicos especializados nas áreas e consultar os levantamentos em artigos bibliométricos para conferir a adequação das palavras-chaves utilizadas, segundo Porter, Youtibe e Shapira (2006), Chen (2007), Li e outros (2008), Chen e outros (2008) e Leydesdorff (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) .

A participação da República Popular da China e Taiwan é crescente no período analisado, enquanto EUA, UE-25 e Japão exibem taxas decrescentes de produtividade científica no período analisado (DALCOMUNI, 2009). O trabalho de Leydesdorff e Wagner (2009) permite verificar que enquanto a participação dos EUA, EU-25, Japão, França e Israel declinam, a República Popular da China, 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.

Leydesdorff e Wagner (2009) destacam o crescimento da produção na área de nanotecnologia. A análise dos programas de estímulo às nanociências e nanotecnologias é um fator importante na recuperação dos indicadores de produtividade científica e patentetária 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, particularmente após 2005⁹. O Gráfico 1 apresenta a evolução das publicações entre janeiro de 1980 e dezembro de 2009 (ICON, 2010).



Fonte: ICON(2010), dados coletados em janeiro de 2010 pelos autores.

Gráfico 1 – Artigos publicados em revistas científicas selecionadas, com artigos *peer reviewed*, sobre nanociência e nanotecnologia, utilizando as seguintes partículas: carbonados, metais, óxidos, semicondutores, organo/polímeros.

A expansão da produção científica (artigos em revistas e congressos científicos) e tecnológica (patentes) revela a dimensão transformadora do conhecimento nestas áreas; adicionalmente há efeito de transbordamento do conhecimento para outras disciplinas e regiões, dado que os trabalhos são multidisciplinares e a maioria das redes envolve pesquisadores de vários institutos e nacionalidades.

Entre as 32 publicações trans e multidisciplinares internacionais existentes em 2006 no campo das N&N, havia revistas científicas com elevado fator de impacto internacional, segundo Leydesdorff e Rafols (2009). Em janeiro de 2010, a coleta de informações na base da Thomson Reuters revela a existência de 31 revistas científicas multidisciplinares e transdisciplinares¹⁰ com peer review – biologia, física, química, computação, engenharia – e

⁹ A pesquisa exploratória em janeiro de 2010 na base de dados da **Thomson Reuters**, **Wiley InterScience** e **RSC Publishing** revela 35 publicações científicas classificadas como journal, *peer reviewed*.

¹⁰ Pesquisa dos autores realizada em janeiro de 2010.

duas envolvendo nanotecnologia e questões legais. Segundo *Nanowerk* (2010), há 69 revistas internacionais.

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 em economia, geografia e sociologia 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 e selecionam-se: nanopartículas, nanocompósitos, nanomateriais, entre outras recomendadas. O crescente depósito e concessão de patentes verificado na pesquisa envolvendo instituições nas bases de patentes da USPTO, WIPO, JPO e Esp@cenet revela a preocupação de instituições, empresas e universidades em buscarem a proteção para os frutos das descobertas, particularmente nos EUA – fruto do Bay-Dohl Act - e em menor grau na UE-25 e Japão, ou outras bases de patentes.

Há crescimento de nanocompósitos de carbono e de outros materiais, intenso desenvolvimento de nanopolímeros e surgimento de nanopós, nanofios e pontos quânticos. 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. Nos EUA, as duas **Iniciativa Nacional sobre Nanotecnologias** (INN) incrementam as pesquisas e os resultados da nanotecnociência a partir de 2000. Verificam-se crescentes gastos privados e governamentais no período 2000/2008 nos países da União Européia¹¹, nos EUA, no Japão e no resto do mundo. Os gastos públicos predominam na União Européia, no Japão e no resto do mundo, mas nos EUA, os gastos privados lideram os gastos setoriais em P&D (UNEP, 2007; NNI, 2010; COMISSÃO EUROPÉIA, 2007).

A Tabela 1 revela o desenvolvimento da pesquisa e das aplicações da nanotecnologia e apresenta a evolução do número 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), por palavra-chave. Os avanços ocorrem no campo ambiental, da saúde – destacando o combate ao câncer -, da engenharia de materiais,

¹¹ 6º. Programa Quadro de Pesquisa(2002-2006) e 7º. Programa Quadro de Pesquisa(2007-2013) aplicam substantivos recursos em N&N reconhecendo o caráter estratégico.

da química e da física. Os materiais desenvolvidos apareciam na forma de nanopolímeros (42,4%) e nanofilmes (37,4%).

Os dados coletados na USPTO (2010) referentes a depósitos de patentes de nanotecnologia até janeiro de 2010 revelam que dos 21.363 pedidos, a maioria destina-se às seguintes aplicações: meio ambiente (34,5%), ótica (9,5%), engenharia (4,2%), fins imunológicos (7,0%), odontologia (2,3%), *drug delivery* (9,4%), têxteis (2,3%). A análise da evolução dos pedidos de patentes entre 2009 e 2010 também revela crescimento acentuado no período recente.

O desenvolvimento das atividades de N&Ns envolvem redes. Em 2003, há 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 são coordenadas por *websides*. São identificadas 100 redes com número médio de 27 parceiros envolvidos. Das redes identificadas 60 são nacionais e 40 internacionais e tais redes podem ser financiadas por recursos da União Europeia (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*.

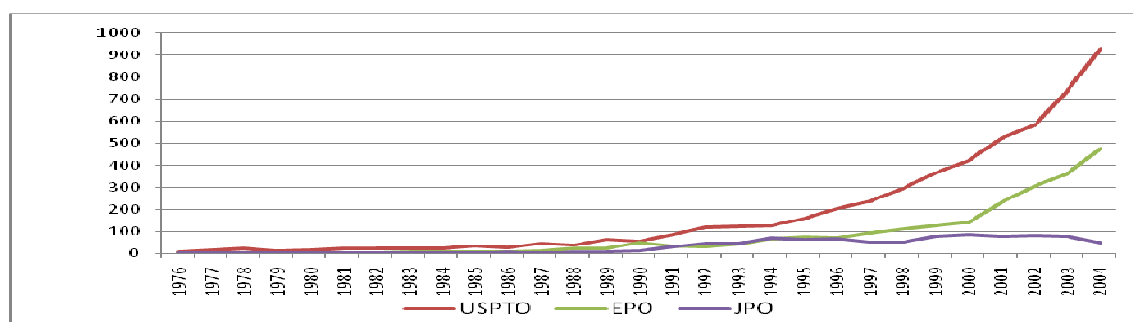
Descrição	USPTO (%)			JPO**		WIPO (%)		p@cenet**
	2009**	2010		2009	2009**	2010		2009
Nano	-	21.363	100	-	-	28.923	100	-
Nano + RNA e/ou DNA	-	1.737	8,1	-	-	5.144	17,8	-
Nanofios	-	1.689	7,9	-	-	1.305	4,5	-
Nano+filme	-	7.983	37,4	-	-	12.691	43,9	-
Nanocristais	-	1.413	6,6	-	-	8.200	28,4	-
Nanopolímeros	-	9.062	42,4	-	-	15.306	52,9	-
Fulerenos	-	1.729	8,1	-	-	1.982	6,9	-
Ponto Quântico	-	2.064	9,7	-	-	-	-	-
Nanocompositos	1.323	1.547	7,2	6	1.567	1.796	6,2	89
Nanotubo de carbono	-	3.240	15,2	2.256	-	3.992	13,8	-
Nanopartículas	7.818	9.628	45,1	980	7.394	9.189	31,8	681
nanopartículas +câncer	2.056	2.257	10,6	7	2.681	3.395	11,7	4
nanopartículas+diagnóst.	1.315	1.563	7,3	5	1.315	2.054	7,1	3
nanopartículas+saúde	1.713	2.077	9,7	-	2.051	2.595	9,0	-
Nanomateriais	590	763	3,6	18	-	1.153	4,0	13
Nanoestrutura	1.550	2.027	9,5	164	-	2.329	8,1	309
Microscopia de força atômica	-	4.911	-	531	-	2.180	-	42
Microscopia de tunelamento com varredura	-	1.797	-	831	-	1.334	-	3
Modelagem molecular	-	593	-	147	-	3.625	-	13

Fonte: WIPO e USPTO, dados coletados pelos autores em 20 de jan de 2010. Período jan. 1976 a jan. 2010. (**) dados coletados em 10 fev. 2009. Período jan. 1976 a 20 fev. 2009.

Toma (2005) destaca que até 2004 os maiores produtores mundiais de patentes em Nanotecnologia operam em redes e estão localizados nos Estados Unidos, Japão, China e

Coréia do Sul. Países em desenvolvimento iniciam seus investimentos em N&N a partir de 2000 - Índia, Tailândia, Filipinas, Chile, México, Argentina e Brasil.

O Gráfico 2 apresenta a evolução das patentes de nanotecnologia nas diferentes bases. Verifica-se que 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 patentiária é menor no mercado japonês. O Bay-Dohl Act de 1980 estimulou a ação patentiária das universidades americanas ao longo do tempo, mas seu efeito tem declinado após 2006, conforme Leydesdorff e Meyer(2009).



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

Gráfico 2 - 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).

Na Alemanha, verifica-se a presença de planos governamentais quadrienais que incentivam o desenvolvimento das N&N. O estímulo governamental associado aos investimentos privados permitiu o desenvolvimento de redes entre as grandes empresas e os institutos de pesquisa de nanotecnologia, formando consórcios de investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação (P, D&I) bem sucedidos. (TOMA, 2005; BMBF, 2007, 2008, 2009).

Entre 1976 e 2004, o EUA garantem um maior número de patentes (3.450), sendo acompanhados pelo Japão (517); mas há o surgimento de novos atores na arena internacional. Os esforços inovativos chineses e coreanos revelam o sucesso recente das políticas nacionais de estímulo às nanociências e nanotecnologias, segundo Chen (2007) e Li et al (2008). De acordo com EPO (2008b), 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. 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 em N&N detêm vantagens comparativas tecnológicas superiores: pesquisadores, empresas e capital (público e privado).

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).

O Brasil é uma nação em desenvolvimento que começa a se aproveitar dessas oportunidades, logo a mensuração dos ativos específicos existentes pode auxiliar em futuras estratégias para um melhor aproveitamento das características já existentes.

Segundo Toma (2005) e Fernandes e Filgueiras (2008), na esfera acadêmica, o desenvolvimento das nanociências é induzido pela política governamental. Em 2001, são implementados os programas de Redes Cooperativas de Nanotecnologia e os Institutos do Milênio - em diferentes segmentos. Em 2005, há quatro Redes Cooperativas de Nanotecnologia, envolvendo universidades e institutos de pesquisa de várias áreas; o número de pesquisadores atinge 300 doutores e 600 pós-graduandos nas áreas de nanotecnologia molecular e interfaces (RENAMI), nanobiotecnologia, nanodispositivos semicondutores e materiais nanoestruturados - nanosemimateriais.

As redes cooperativas e os institutos do Milênio estimulam o trabalho cooperativo, permitem a inclusão de grupos emergentes em atividades de parceria e contribuem para o crescimento qualitativo e quantitativo dos trabalhos realizados e queda dos custos nos investimentos realizados, em função da existência de economias de escala e escopo na pesquisa nanométrica (TOMA, 2005). A infra-estrutura adequada e compartilhada e a identificação dos laboratórios estratégicos são importantes fatores de desenvolvimento econômico e regional. O Brasil investe entre 2000 a 2007 R\$70 milhões e entre 2007 e 2010 mais R\$70 milhões, enquanto no período 2001/2006, os EUA aplicam US\$5,461 bilhões (DALCOMUNI, 2009; NNI, 2009).

Os principais marcos históricos do desenvolvimento da nanotecnologia no país são apresentados no Quadro 1 a seguir:

2001	Criação das 4 redes de nanotecnologia CNPq/MCT e apoiados 4 Institutos do Milênio na área
2003	Criação do Grupo de Trabalho de Nanotecnologia para elaboração do Programa de nanotecnologia
2003	Criação da Coordenação-Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia. Atualmente Coordenação de Micro e Nanotecnologias
2004	Início do Programa Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia no âmbito do PPA 2004 – 2007
2004	Criação do GT para estudo sobre a implantação do Laboratório Nacional de Micro e nanotecnologia
2004	Criação da Ação Transversal de Nanotecnologia nos Fundos Setoriais
2004	Instituição da Rede BrasilNano e seu Comitê Diretor
2005	Lançamento do Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN)
2005	Assinatura do Protocolo de Intenções entre Brasil e Argentina que criou o CBAN
2006	Início de atividades do CBAN

Fonte: MCT (2006)¹².

Quadro 1- Evolução dos marcos históricos em N&N no Brasil.

¹² MCT, **Nanotecnologia :Investimentos, Resultados e Demandas**. Brasília, 2006.

O Brasil também tem estimulado o desenvolvimento das nanociências e das nanotecnologias. Segundo Zanetti-Ramos e Creczynski-Pasa (2008), o cenário nacional e internacional de investimentos em nanotecnologia é promissor; as autoras também atestam o sucesso dos nanoprodutos no mercado de fármacos e cosméticos, dada a crescente oferta de bens nos EUA, na Comunidade Européia e no Brasil.

O estímulo governamental em nanociências e nanotecnologia se inicia em 2001, com a criação de 4 redes de pesquisa e o aporte financeiro previsto de R\$3 milhões - Nanobiotec, Nanomat, Nanosemimat, RENAMI - que articulam 300 pesquisadores e 77 instituições entre 2002 e 2005.

O resultado segundo MCT (2006) é a publicação de 1.000 artigos científicos e o depósito de 90 patentes no INPI. A partir de 2004, o programa é revigorado mediante sua continuidade com os Institutos do Milênio do PADCT III e o surgimento do Programa “Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia”, no período 2004 a 2007, que estimula a geração de patentes, produtos e processos na área. Mas as redes são altamente dependentes das políticas públicas (LUDEÑA, 2008).

O governo disponibiliza apoio à pesquisa básica, à pesquisa entre ICT e empresas, reforça as redes existentes e a infraestrutura laboratorial e a partir de 2005, a Política Industrial, Tecnológica e do Comércio Exterior (PITCE) e a criação da Ação Transversal de Nanotecnologia dos Fundos Setoriais estimulam ainda mais o programa. O lançamento do Programa Nacional de Nanotecnologia, cujas ações recebem recursos dos Fundos Setoriais quando adicionados aos recursos do PPA, permite a criação de mais 10 novas redes de pesquisa, o fortalecimento do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), do Centro Brasileiro Pesquisas Físicas (CBPF), da Embrapa Instrumentação Agropecuária e do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) e apoio a projetos de pesquisa básica e aplicada entre os institutos de pesquisa e empresas, apoio a incubadoras.

Os gastos iniciais para a criação e operacionalização criação dos Institutos do Milênio do PADCT III são significativos para a realidade brasileira. A criação dos Institutos do Milênio associados às N&N envolve R\$22,468 milhões. Os recursos do PPA 2004-2007 - editais de pesquisa cooperativa, estudos de impacto, apoios diretos às redes NANOBIOTEC, NANOMAT, NANOSEMIMAT, RENAMI, LNLS e apoio a eventos científicos - alcançam R\$8,4 milhões adicionais. Os fundos setoriais oferecem recursos para 22 projetos no edital CT-ENERG/CNPq 018/2004 e o suporte para 20 redes no edital CT-FVA/CNPq 01/2003 totalizando R\$9,115 milhões. Os editais para bolsas de inovação das áreas do PITCE

disponibilizam R\$7,1 milhões. O PPA 2004-2007 e os Fundos Setoriais de Nanotecnologia disponibilizam R\$ 58,55 milhões para viabilizar a operação dos laboratórios LNLS, INMETRO, LNNA-EMBRAPA e CBPF. Os recursos para jovens cientistas (CNPq), infraestrutura para laboratórios, repasse de recursos para as dez redes das Redes Brasil Nano, subvenção para 12 projetos de empresas de N&N da FINEP e os aportes de recursos a projetos aprovados no ICT-Empresas totalizam R\$ 28,42 milhões.

A partir da plataforma de pesquisa Lattes – CNPq realiza-se a busca dos grupos de pesquisa envolvidos com nanotecnologia no Brasil e a Tabela 2 mostra os grupos atuantes por área de aplicação da nanotecnologia e verifica-se o crescimento significativo de grupos entre 2006 e 2010, fruto das políticas governamentais que maturam após 2005, particularmente nanocompósitos e nanopartículas. Há o predomínio de grupos de física, química e engenharia de materiais até 2006. No período recente, surgem grupos na área de farmácia, agronomia, odontologia e alimentos.

Tabela 2 – Grupos de Pesquisa atuando na área - nome do grupo e denominação da linha de pesquisa e palavras-chave da linha - 2000 a 2008.

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008
Nanocompósitos	8	18	32	35	46
Polímeros e nanocompósitos	4	10	18	18	21
Nanopartículas	6	14	32	40	57
Nanotubos	3	5	14	19	32
Fulereo	0	1	1	0	0
Ponto quântico	0	0	0	1	2
Microscopia de força atômica	6	4	9	9	9

Fonte: Adaptado pelos autores. Dados CNPq – Plataforma Lattes, Censo Busca Textual. Dados CNPq (2010).

A produção em C, T&A revela a evolução da produção bibliográfica dos grupos de pesquisa. A Tabela 3 analisa a produção bibliográfica dos grupos por palavras-chave entre os anos de 2000 e 2008.

Tabela 3 – Produção de C,T&A , segundo grupos de pesquisa que atuam nas linhas das palavras-chave, título da produção C,T&A e referência bibliográfica - 2000 a 2008.

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008
Nanocompósitos	141	217	303	1.050	2.424
Polímeros e nanocompósitos	9	10	63	261	636
Nanopartículas	199	291	672	1.063	2.366
Nanotubos	104	159	545	849	924
Fulereo	11	21	22	27	18
Ponto quântico	83	117	172	102	38
Microscopia de força atômica	277	334	383	369	380

Fonte: Adaptado pelos autores. Censo Busca Textual. Dados CNPq (2010).

O incremento de produtividade neste curto espaço de tempo foi alto, conforme se verificam em nanopartículas e nanocompósitos. A produção científica cresce 126% (2004/2006) e 38% (2006/2008) em nanocompósitos; o crescimento no campo de nanopartículas também deve ser destacado: 58% (2004/2006) e 55% (2006/2008). Já a pesquisa em fulerenos e ponto quântico, na presente amostra não apresentam avanços significativos entre 2004 e 2008.

A Tabela 4 apresenta a evolução do número de pesquisadores entre 2000 e 2008 e revela que no curto espaço de tempo analisado há incremento significativo.

Tabela 4 – Número de pesquisadores por nome de grupo, palavras-chave, palavra-chave da produção e linha de pesquisa: 2000 a 2008.

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008
Nanocompósitos	19	46	84	96	123
Polímeros e nanocompósitos	24	35	76	113	38
Nanopartículas	19	42	107	166	219
Nanotubos	5	16	46	58	86
Fulereo	5	5	6	13	10
Ponto quântico	16	20	28	28	23
Microscopia de força atômica	69	63	120	126	105

Fonte: Adaptado pelos autores. Dados, Censo Busca Textual. Dados CNPq (2010).

A evolução do número de pesquisadores atuantes permite dimensionar o esforço na capacitação o capital humano existente em N&N e seus resultados, mas são necessários investimentos prospectivos para realizar o *catch up* frente à trajetória de países desenvolvidos e ampliar a capacidade potencial de desenvolvimento.

Há o desenvolvimento de competências em microscopia de força atômica, nanocompósitos, nanopartículas e polímeros, com ampla aplicação industrial. Os campos das argilas e ponto quântico – o último, fronteira científica, com aplicação física e biológica, está em formação. Os dados permitem inferir que o esforço de desenvolvimento em N&N busca realizar o *catch-up* no novo paradigma e nas trajetórias delineadas pelos pesquisadores internacionais.

Leydesdorff (2008) analisa a distribuição das patentes em nanotecnologia, segundo informação de inventores e seu local de residência, em nanotecnologia (Y01N), utilizando os dados do WIPO (2006), 768 patentes e 799 endereços, assim distribuídos: EUA (330), Japão (120), Coreia do Sul (23), China (11) e Brasil (2).

A Tabela 5 apresenta o número de estudantes envolvidos em grupos de pesquisa cadastrados no CNPq consultados por palavras-chave entre 2000 e 2010.

Tabela 5 – Número de estudantes cadastrados, segundo grupos CNPq , palavras-chave da linha, nome da linha entre 2000 e 2008.

Palavras-chave	2000 (A)	2002 (B)	2004 (C)	2006 (D)	2008 (E)
Nanocompósitos	19	46	84	101	132
Polímeros e nanocompósitos	5	19	48	42	46
Nanopartículas	20	33	107	166	219
Nanotubos	5	16	46	58	86
Fulereno	1	1	2	0	0
Ponto quântico	2	1	1	1	3
Microscopia de força atômica	9	8	28	28	21

Fonte: Adaptado pelos autores. Dados, Censo Busca Textual. Dados CNPq (2010).

Ludeña (2008) analisa dez redes de inovação em nanotecnologia e conclui que os esforços para o desenvolvimento no Brasil são fragmentados e que as redes de inovação em nanotecnologia envolvem programas fortemente centrados nas instituições públicas.

A tabela 6 apresenta a produção das quatro primeiras redes de nanotecnologia apoiadas pelo governo até 2005. Os resultados são elevados em termos de publicação científica e começam a frutificar no campo tecnológico, na forma de patentes no Brasil.

Tabela 6 –Redes brasileiras de nanotecnologia

Rede	Pesquisadores	Instituições	Empresas	Artigos	Patentes
Nanobiotecnologia	92	19	9	674	25
Nanosemimat	55	18	1	970	15
Nanoestruturados	150	23	-*	225	-*
RENAMI	258	77	13	991	97

(*) Não fornecido.

Fonte: MCT(2006).

O Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI – registra as patentes de residentes e não residentes no Brasil. A Tabela 7 apresenta a evolução do número de patentes registradas entre os anos de 1991 a 2010.

Tabela 7 – Número de patentes por palavras-chave descritas ou especificadas no título e resumos dos processos registrados no INPI*.

Palavras-chave	Título	Resumo
Nanocompósitos	34	51
Nanotubos	17	34
Nanotubos de carbono	12	24
Ponto quântico	1	6
Nanopartículas	84	221
Nanomateriais	4	5
Nano	34	95

Fonte: Coleta dos autores. Dados INPI (2010). (*) Consulta realizada em 20 de janeiro 2010.

Verifica-se o crescimento do número de patentes nas áreas nanotecnológicas, em função do crescente interesse industrial nestas áreas de pesquisa no Brasil e conclui-se que o sucesso das nanotecnologias e o estímulo das políticas públicas ainda é limitado, frente aos estímulos e desempenho dos países desenvolvidos.

A partir da análise dos indicadores de patenteamento, Leydesdorff (2007) destaca a importância dos sistemas nacionais de inovação no desenvolvimento tecnológico, conceito desenvolvido na economia evolucionária, enquanto unidade de comparação para a investigação empírica. No caso brasileiro pode-se inferir que em termos científicos há um avanço significativo, entretanto em termos tecnológicos os resultados não são tão expressivos. Os institutos do milênio e as redes de nanotecnologia no Brasil incrementam a produtividade, reduzem os custos, em função das economias de escala e escopo exploradas e também intensificam a cooperação.

5. ÉTICA, RISCOS E GOVERNANÇA EM NANOTECNOLOGIA

Os estudos destacam riscos de contaminação por nanopartículas indesejáveis liberadas, facilmente difundidas e transportadas em meio aquático, térreo e aéreo; dificuldade na remoção de resíduos mediante o uso de técnicas usuais de filtração; facilidade de entrada e acúmulo de nanopartículas em células vivas; elevado risco associado à biodisponibilidade, biodegradabilidade e toxicidade de novos nanomateriais; concentração e maior resistência a degradação indesejável no meio ambiente (OECD, 2005; QUINA, 2004; TOMA, 2004). Sáenz e Souza-Paula (2008) apontam os seguintes riscos: criação descontrolada de formas de vida; redução da biodiversidade; desestabilização da engenharia ambiental; maiores desigualdades sociais. Segundo Sandler (2009) ainda não há um consenso entre os cientistas quanto aos riscos da nanotecnologia. Roco (2008a) discute os desdobramentos e perspectivas da nanotecnologia e Roco (2008b, 2008c) sugere uma governança multilateral internacional para tentar contornar os riscos e incertezas derivados da nova realidade de convergência tecnológica.

Para Hulmann (2008), os esforços da Comissão Européia para discutir benefícios e riscos e analisar questões éticas, legais, sociais - (ELSA) - e de governança das nanotecnologias são significativos e consideram que a ciência e a tecnologia não devem caminhar dissociadas destes aspectos. Há o predomínio da avaliação de riscos – segurança, toxidade e impacto ambiental – nas publicações científicas entre 2000 e 2007 (SILVA, 2009). A análise do debate, no entanto, revela que as N&N não trazem novidades ao debate na fronteira científica, filosófica e ética, e confirma que elas possuem natureza disruptiva e revolucionária, pois o progresso científico permite ao homem interferir no processo evolutivo

e controlar sua própria evolução, dando-lhe capacidade de reestruturar e organizar o mundo e a sociedade átomo por átomo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo discute a evolução e desempenho de indicadores selecionados de N&N para o Brasil e para o mundo. Diante da previsão de esgotamento dos recursos naturais não-renováveis e da expansão populacional, a contribuição das N&N permitirá explorar de maneira mais eficiente os recursos existentes, podendo contribuir para o bem-estar social.

As análises dos componentes publicações e patentes permitiram verificar o desenvolvimento bem sucedido do Japão, EU-25 e Estados Unidos e o uso adequado de instrumentos para alavancar as N&N à luz do enfoque evolucionário, da abordagem do SNI e da abordagem da Tríplice Hélice; o sucesso não ocorre com a mesma intensidade no Brasil, cujos esforços iniciam-se tardiamente e com menor volume de recursos, mas começam a ser colhidos, conforme as evidências empíricas analisadas.

No campo do meio ambiente, da saúde e da bioética verificam-se debates científicos, filosóficos e éticos intensos. A natureza disruptiva e revolucionária persiste nas N&N; embora não incorporem novos itens ao debate, permitem interferir e controlar a evolução humana, deslocando a capacidade de organizar e reestruturar o mundo e a sociedade para o nível atômico, realizando a mudança átomo por átomo.

Há necessidade de crescente investimento nestas áreas de pesquisa par viabilizar o seu potencial transformador no país. O Brasil possui grupos de pesquisa que já estão atuando nestas áreas e tem capacitado recursos humanos; a evolução em curto espaço de tempo demonstra as reais capacidades do setor brasileiro, a partir das redes estruturadas com recursos governamentais. A elevação dos investimentos nestas áreas pode incrementar a produtividade industrial e transbordar para outros setores.

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.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) **Nano.DE-Report 2009. Status Quo of Nanotechnology in Germany**. Bonn Berlin, 2009.
- _____, **Nanoparticles - small things, big effects**. Bonn Berlin, 2008.
- _____, **Nano-Initiative – Action Plan 2010**, Bonn Berlin, 2007.
- 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.
- 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.
- CNPq – **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. Plataforma Lattes. 2004. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br>>. Acesso em: 22 de fev. 2009.
- COMISSÃO EUROPÉIA. **Nanotecnologias: Inovações para o mundo de amanhã**. Bélgica, 2004. Disponível em <<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>>. Acesso em: 15 de jun. de 2006.
- _____, **Comunicação da comissão ao conselho, ao parlamento europeu e ao comité econômico e social europeu: Nanociências e nanotecnologias. Plano de ação para a Europa 2005-2009.Primeiro Relatório de Execução 2005-2007**. Bruxelas, 2007. 17 f. Disponível em <http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/comm_2007_0505_pt.pdf> Acessado dia 19 jan 2010.
- DALCOMUNI, S.M. Nanotecnologia. In Albuquerque, E.(coord.) **Projeto perspectivas do investimento no Brasil (PIB). Bloco: Economia do conhecimento sistema produtivo: baseados em ciência**.Vitória: UFES, 2009.
- 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.
- 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 – 2009. Disponível em: <<http://ep.espacenet.com>>. Acesso em: fev. 2009
- _____, **Compendium of Patent Statistics**. OECD, 2009.
- EC (EUROPEAN COMMISSION). Survey of Networks in Nanotechnology-2003 Disponível em: <http://www.ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/euronanoforum_surveyofnetworks.pdf>. Acesso em: 19 de mar. 2008.
- 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.
- EUROPA, **Síntese da Legislação: Programas Quadro**. Disponível em: <http://europa.eu/legislation_summaries/research_innovation/general_framework/i23015_pt.htm>. Acesso em janeiro de 2010.
- FERNANDES, M. F. M.; FILGUEIRAS, C.A. L. **Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios)**. *Quím. Nova* [online]. vol.31, n.8, pp. 2205-2213 ,2008.
- FORAY, D.; LUNDVALL, 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 edição, 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.

- GALEMBECK, F.; RIPPEL, M. M. **Nanocompósitos poliméricos e nanofármacos: fatos, oportunidades e estratégias**. In: *Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos*. n.º18, agosto 2004. Brasília: CGEE, 2004.
- HUANG, C.; NOTTEN, A.; RASTERS, N. Nanotechnology publications and patents: a review of social science studies and search strategies. Merit Working Paper Series 2008-058, 2008.
- HULLMANN, Angela **European activities in the field of ethical, legal and social aspects (ELSA) and governance of nanotechnology**. European Commission, DG Rese . Disponível em <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/elsa_governance_nano.pdf> European Commission, DG Research Unit "Nano and Converging Sciences and Technologies", CORDIS, 2008. Capturado em 20 de janeiro de 2010.
- ICON - INTERNATIONAL COUNCIL ON NANOTECHNOLOGY , **Nano-EHS Database Analysis Tool** ,2010. Disponível em <<http://icon.rice.edu/report.cfm>>. Acesso em 20 de janeiro. 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL - INPI. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/>>. Acesso em: 24 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.
- 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.
- 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**. 2009. 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: Internet knowledge mapping system for nanotechnology development. *J. Nanopart Research*. Vol. 2008.
- LUDEÑA, M. E. **Avaliação de redes de inovação em nanotecnologia: a proposta de um modelo**. (Tese de doutorado) São Paulo: FIA, 2008.
- LUNDVALL, 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.
- MANGEMATIN, V., Emergence des nanotechnologies, quels modèles? **Revue Droit Sciences et Techniques**, forthcoming. Disponível em <http://www.mangematin.org/VM_Articles_publics>. 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.
- MCT, **Nanotecnologia : Investimentos, Resultados e Demandas**. Brasília, 2006
- MELO, C. P. de; PIMENTA, M. **Nanociências e Nanotecnologia**. In: *Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos*. n.º18. Brasília: CGEE, 2004.
- NANOWERK, Disponível em <http://www.nanowerk.com/phpscripts/n_periodicals.php>. Acesso em jan. 2010.
- NELSON, R. **National Innovation Systems**: a comparative analysis. New York, Oxford University Press, 1993.
- NNI –NANOTECHNOLOGY PRESIDENT’S COUNCIL OF ADVISORS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY. **So what’s nanotechnology**. Disponível em <<http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html>> .Acesso em 10 janeiro de 2009.
- _____. **The National Nanotechnology Initiative: Second Assesment and recommendation of National Nanotechnology Advsory Panel**. Washington, 2008.

- _____. **Strategic Plan**. Disponível em <<http://www.nano.gov/html/>> .Acesso em 20 janeiro de 2010.
- 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. 2009.
- PAVITT, K. "Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory". *Research Policy*, v.13, p.343-373,1984.
- PORTER, A. ;YOUTIBE, J.; SHAPIRA, P. **Refining search terms for nanotechnology**. Arizone State University, NSF. CNS-ASU, 2006. Disponível em <<http://cns.asu.edu/cns-library/documents/Porter-Shapira%20Nano%20Search%20Briefing%20Paper.pdf>>.
- QUINA, F. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. **Quím. Nova** .Vol.27 no.6 , p. 1028-1029 .São Paulo Nov./Dec. 2004.
- ROCO, M. Long view for nanotechnology R&D. **American Academy of Nanomedice Symposium**, 2008a. Disponível em <http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/NNI_08-0906_Roco@Nanomedicine_LongViewUS_50sl.pdf>. Acesso em 13 de fev. de 2009.
- ROCO, M. Possibilities for Global Governance of Converging Technologies. **Journal of Nanoparticle Research**. Vol.10, p.11–29, June 2008b .
- ROCO, M.C. Progress in governance of converging technologies integrated from nanoscale. In: Bainbridge W.S. & M.C. Rocco (eds.) Progress in convergence. **Technologies for the human wellbeing**. Annals of the New York Academy Sciences, v.1093. Blackwell Publishing: Bosto Massachussetts, 2008c.
- SÁENZ ; T.W. SOUZA-PAULA, M.C **Convergência Tecnológica**. Brasília. Centro de gestão e Estudos Estratégicos, 2008.
- SANDLER, R. **Nanotechnology: the ethical and social issues**. Woodrow Wilson International center for Scholars. The Pew Charitable Trust, 2009 .
- SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1982.
- 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. Paradigmas Tecnológicos e Teorias Econômicas da Firma. **Revista Brasileira de Inovação**. Vol.4, no.1, p.187-223, jan-jul2005.
- TIGRE, P. B. Inovação e teorias da firma em três paradigmas. *Revista de Economia Contemporânea*. No.3,p. 67-111, jan-jul 1998.
- 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, 2007, Disponível em: <http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2007/PDF/7_Emerging_Challenges_72dpi.pdf>.
- USPTO – United States Patent & Trademark Office.**Patents. 2009**. Disponível em: <<http://patents.uspto.gov/>>. Acesso em: 18 de fev. 2009.
- _____. **Patents .2010**. Disponível em: <<http://patents.uspto.gov/>>. Acesso em: jan. 2010.
- ZANETTI-RAMOS, B. G.; CRECZYNSKI-PASA, T. B.. O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos. **Rev. Bras. Farm.**, 89(2): 95-101, 2008.