

O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos

Nanotechnology development: world-wide and national investments

Betina Giehl Zanetti-Ramos^{1*} & Tânia Beatriz Creczynski-Pasa²

RESUMO – Atualmente, a nanotecnologia é um dos principais focos das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação em todos os países industrializados do mundo. Os investimentos superam dois bilhões de dólares por ano e o seu desenvolvimento tem sido apontado como uma nova revolução tecnológica, que, em ritmo acelerado de crescimento, simboliza uma área estratégica para economias consolidadas e emergentes, promovendo uma competição tecnológica mundial, dentro de um mercado de um trilhão de dólares estimados para o período entre 2010 e 2015. O vocábulo nanotecnologia vem de nanômetro, medida que equivale à bilionésima parte do metro, algo, quase 100 mil vezes, menor do que a espessura de um fio de cabelo. Também pode ser entendida como a arte de manipular a matéria em nível atômico, construindo moléculas inéditas, com propriedades diferentes. A nanotecnologia encontra aplicações em praticamente todos os setores industriais e de serviços, incluindo as nanopartículas, os revestimentos, catalisadores e nanocomponentes. Muitas destas, já no mercado, revolucionam aplicações de diversos produtos, mudando radicalmente o custo produtivo de muitas indústrias, podendo tornar os produtos não nano alternativas, muitas vezes, não competitivas. Neste artigo, serão fornecidas informações do cenário atual e futuro de investimentos e o potencial de desenvolvimento desta nova tecnologia.

PALAVRAS-CHAVE – Nanotecnologia, investimentos, nanoprodutos.

SUMMARY – Currently the nanotechnology is one of the main centers of attention in the research activities, development and innovation in all industrialized countries of the world. The investments, over two billion dollars per year and its development has been pointed as a new technological revolution that symbolizes a strategically area to consolidate emergent economies, promoting a world-wide market competition inside one trillion dollars among 2010-2015. Nanotechnology becomes to nanometer, measure that is equivalent to 10^{-9} of the meter, something 100 thousand times lower than the hair wire thickness. Also it can be understood as the art to manipulate the substances in atomic level, constructing new molecules with different properties. The Nanotechnology finds applications in practically all industrial sectors and services and includes nanoparticles, coverings, catalysers and nano-components. Many of these materials are in the market and revolutionize diverse products and its applications, changing radically the productive cost of many industries, rendering the not-nano products as an alternative many times not-competitive. In this article current and future investments as well the potential development of this new technology, will be supplied.

KEYWORDS – Nanotechnology, investments, nanoproducs.

INTRODUÇÃO

1. O desenvolvimento da nanotecnologia

1.1 Cenário mundial

O reconhecimento da nanociência e da nanotecnologia, como uma tendência chave na ciência e tecnologia do século XXI, avançou no biênio 1997-1998, mesmo inicialmente sendo vista como ficção científica. A consciência global do potencial desta nova tecnologia criou um clima de competição científica e tecnológica, movendo recursos humanos e financeiros na indústria mundial.

Estima-se que a produção industrial anual excederá a um trilhão de dólares, entre 2010 e 2015, requerendo aproximadamente dois milhões de trabalhadores (Roco, 2001). Estados Unidos (EUA), União Europeia (UE) e

Japão apresentam o maior nível de desenvolvimento em nanotecnologia.

Com o lançamento da Iniciativa Nacional sobre Nanotecnologias (*National Nanotechnology Initiative* - NNI), em 2000, os EUA iniciaram um ambicioso programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em nanotecnologias, aumentando as despesas federais de 220 milhões de dólares, em 2000, para cerca de 750 milhões de dólares, em 2003, e para 982 milhões de dólares, em 2005. Foi também assegurado o compromisso, em longo prazo, dos EUA, através da lei de desenvolvimento das nanotecnologias no século XXI (*21st Century Nanotechnology Development Act*), com vigência do ano de 2005 a 2008, que irá investir perto de 3,7 bilhões de dólares em cinco agências, duplicando o atual nível de financiamento até o ano de 2008.

Recebido em 26/6/2007

^{1,2}Laboratório de Bioenergética e Bioquímica de Macromoléculas
Departamento de Ciências Farmacêuticas, Centro de Ciências da Saúde
Universidade Federal de Santa Catarina - 88040-900 - Campus Universitário, Trindade - Florianópolis/SC

O Japão considerou a nanotecnologia uma das suas principais prioridades de investigação, em 2001. Os níveis de financiamento anunciados aumentaram acentuadamente, de 400 milhões de dólares, em 2001, para cerca de 800 milhões de dólares, em 2003.

A China está dedicando recursos crescentes às nanotecnologias, o que é particularmente significativo, se considerado o seu poder de compra. O percentual de publicação está aumentando rapidamente, com uma taxa de crescimento de 200% no final da década de 1990, e está aproximando-se das taxas da União Europeia e dos Estados Unidos (Roco, 2001).

Investimentos governamentais em nanotecnologia, realizados no período entre 1997 a 2005, são apresentados na **Tabela I**. Observa-se que o crescimento nos investimentos superou 900% num período de 8 anos.

Outros países estão investindo em nanotecnologias, incluindo Coreia do Sul, Taiwan, Austrália, Canadá, Índia, Israel, Malásia, Nova Zelândia, Filipinas, Singapura, Tailandia e países da América Latina e da África.

É importante ressaltar que a nanotecnologia está crescendo em um ambiente em que as interações internacionais aceleram a ciência, a instrução, a pesquisa

e o desenvolvimento industrial, numa estratégia global de interesse mútuo, que conecta programas individuais, através da contribuição entre países, comunidades profissionais e organizações internacionais.

Os campos da nanociência e da nanotecnologia são amplos e envolvem quase todas as disciplinas e áreas de relevância, sendo, portanto, essencialmente multidisciplinares. A **Tabela II** apresenta as áreas de desenvolvimento, em diferentes países.

A maioria dos domínios das nanotecnologias encontra-se numa fase inicial de desenvolvimento, sendo que os investigadores bem sucedidos estão, frequentemente, transformando-se em empresários, criando as suas próprias empresas emergentes. Das centenas dessas empresas criadas nos últimos anos, metade está localizada nos EUA, em comparação com um quarto na União Europeia.

Os benefícios são evidentes não somente a curto prazo, mas, particularmente, a médio e longo prazo. A partir de 2006, uma rápida evolução foi constatada (**Fig. 1**). A taxa crescente de descobertas científicas comprova esta indicação (Roco, 2001).

Das amplas oportunidades atuais de P&D, os países estão desenvolvendo áreas que correspondem às suas necessidades estruturais, com o foco variando, principalmente, entre ciência (por ex., EUA e França) e indústria (por ex., Coreia do Sul).

O ponto-chave dos benefícios econômicos da nanotecnologia será o estabelecimento de uma infra-estrutura capaz de educar e treinar um número adequado de investigadores, de professores e de trabalhadores técnicos, criando uma nova geração de profissionais hábeis, com perfis multidisciplinares que serão necessários para o rápido progresso dessa ciência. Entre 2010 e 2015, a estimativa é de que serão necessários de 8 a 9 milhões de trabalhadores nos EUA, 5 a 6 milhões no Japão, 3 a 4 milhões na Europa e, aproximadamente, 1 milhão em outros países. O treinamento de pessoal será componente chave para o sucesso.

O crescente número de artigos publicados, contendo a palavra "nano", indica os fortes investimentos realizados em pesquisas nessa área. O número cumulativo, próximo a 30.000 artigos, pôde ser contabilizado em 2006, na base de dados *ISI Web of Science*. O número de artigos publicados, em nível mundial, contendo a palavra "nano" está apresentado na **Fig. 2**.

Todavia, parece que os conhecimentos oriundos da pesquisa nem sempre são aproveitados pela indústria. A análise de patentes revela uma insuficiência na transformação da pesquisa e desenvolvimento em aplicações

TABELA I

Investimentos governamentais destinados à pesquisa e desenvolvimento, entre 1997 a 2005 (milhões de dólares)

País	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
EUA	126	151	179	200	-225	-400	-650	-950	-1050
Japão	120	135	157	245	-465	-720	-800	-900	-950
UE	116	190	255	270	465	697	862	989	-1081
Outros	70	83	96	110	-380	-550	-800	-900	-1000
Total	432	559	687	825	-1535	-2350	-3100	-3700	-4100
(% de 1997)	100%	129%	159%	191%	355%	547%	720%	866%	945%

Fonte: M. Roco, National Science Foundation.

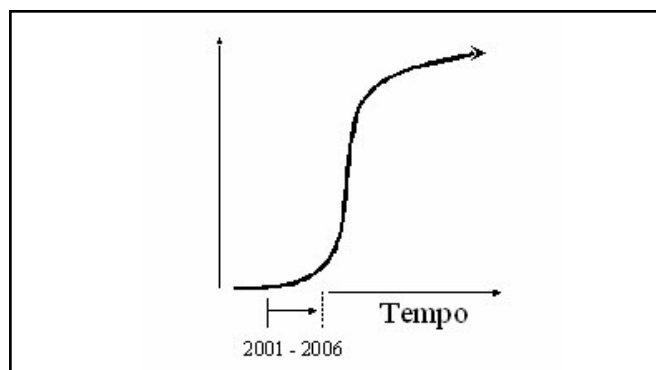
TABELA II

Áreas de investimento do governo em nanotecnologia, em diferentes países

País	Materiais/Manufatura	Dispositivos (eletrônicos e ópticos)	Energia e meio-ambiente	Biotecnologia e medicina	Instrumentos	Educação
Alemanha	X	X		X	X	
Argentina	X					
Austrália	X	X	X	X		
Brasil	X	X		X		
Canadá	X	X		X		
EUA	X	X	X	X	X	X
França	X			X		
Índia	X	X		X	X	X
Itália	X	X		X	X	
Japão	X	X	X	X	X	
Reino Unido	X	X		X		
Suíça	X	X		X	X	

Fonte: International Dialogue on Responsible Research and Development of Nanotechnology, junho 2004.

Disponível em: <http://www.nanoandthepoor.org/international.php>



Fonte: Roco, 2001.

FIG. 1 - Curva do desenvolvimento da Nanotecnologia (diagrama esquemático).

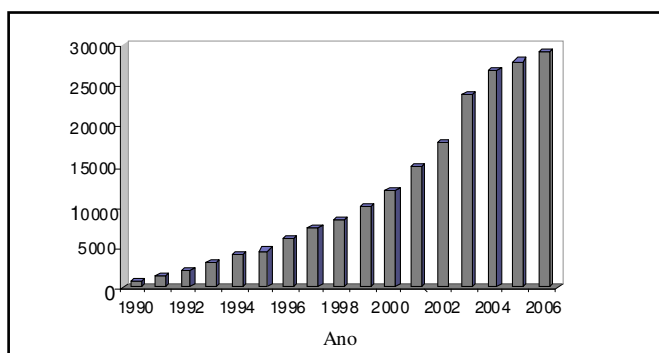


FIG. 2 - Número de artigos cumulativos, encontrados na base de dados ISI Web of Science, contendo a palavra "nano".

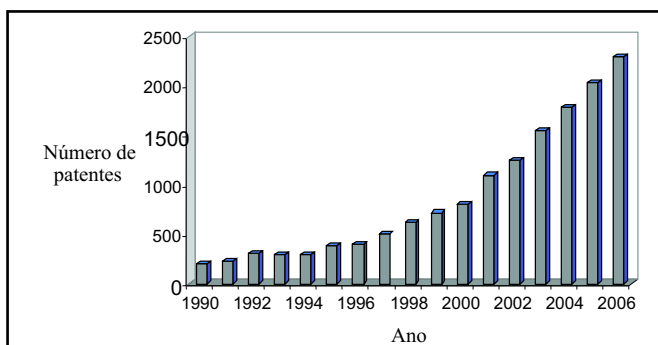


FIG. 3 - Número de patentes cumulativas relacionadas à nanotecnologia (encontradas no banco de dados da Organização Americana de Marcas e Patentes - USPTO).

efetivas. Um valor cumulativo inferior a 2.500 patentes foi registrado no banco de dados da Organização Americana de Marcas e Patentes – USPTO até o ano de 2006 (Fig. 3). Obviamente, nem todas as pesquisas realizadas visam a resultados que possam ser utilizados tecnologicamente. Por se tratar de um novo domínio, pesquisas básicas que resultem em conhecimentos relacionados aos impactos desta nova tecnologia, serão imprescindíveis.

A proteção da propriedade dos conhecimentos, através dos DPI (Departamentos de Propriedade Intelectual) é essencial para a competitividade da indústria, tanto em termos de atração do investimento como de garantia das receitas futuras. As patentes nessa área cresceram continuamente desde o início da década de 1980. Entretanto, a gestão conjunta da propriedade intelectual pode constituir um desafio num domínio como o das nanotecnologias, em que a interdisciplinaridade reúne investigadores e industriais com diferentes culturas, mentalidades e objetivos.

As patentes são normalmente necessárias para provar o direito de propriedade dos conhecimentos e os novos empresários precisam não só estar na vanguarda das nanotecnologias, mas também, combinar estas com perspicácia e estratégia empresarial de gestão (Comissão das Comunidades Européias, 2004).

Entretanto, devido à sua forte ênfase nos conhecimentos, as nanotecnologias colocam questões fundamentais quanto ao que deveria ou não ser objeto de patente. Acordos sobre conceitos e definições, em nível internacional, desempenharão um papel essencial na manutenção da confiança dos investidores e na prevenção de distorções que poderão surgir no tratamento ou na interpretação dos direitos de propriedade intelectual (Murdock, 2005).

1.2 Cenário brasileiro

O governo brasileiro incluiu a nanotecnologia entre as prioridades e está determinado a levar o país a dar, nessa área, um salto similar ao obtido na biotecnologia. Mesmo não contando com uma política articulada para desenvolver o que promete tornar-se nas próximas décadas, a nova base tecnológica da economia mundial, a comunidade científica e o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) estão convencidos de que o país tem tudo para conquistar alguns nichos importantes desse novo mercado (Mateos, 2003).

A nanotecnologia brasileira produz resultados de vanguarda nas áreas farmacêutica e de interface com a biotecnologia, dentre os quais podemos citar os nano-carreadores, usados em cosméticos e associados a medicamentos, como alguns quimioterápicos antitumorais.

As iniciativas do MCT datam do ano 2000, sendo que, em 2002, foi realizado o primeiro curso de capacitação intitulado *First Brazilian Winter School on Nanobiotechnology*, reunindo vários grupos de pesquisa nacional e internacional.

Através da Portaria de 16 de maio de 2003, foi criado um Grupo de Trabalho para elaborar o Programa de Nanotecnologia no âmbito do PPA 2004–2007, evitando a problemática decorrente da provável perda de competitividade da indústria brasileira em seus diversos setores produtivos, caso o país não se capacite para o desenvolvimento de áreas promissoras, como é o caso da nanotecnologia (Ministério de Ciência e Tecnologia, 2005).

As ações do programa receberam aportes adicionais de recursos dos Fundos Setoriais (Ação Transversal de Nanotecnologia). Essas iniciativas apoiaram o fortalecimento de estruturas laboratoriais de grande porte, como a construção do Laboratório Nacional da Luz Síncrotron (12 milhões de reais, contrapartida da FAPESP) e investimento de 14 milhões de reais no Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO). Outras ações relacionadas são: cooperação internacional, empresas incubadas e a editoração de material técnico-científico, com apoio a jovens pesquisadores que, além de projetos de pesquisa básica em nanotecnologia, buscam incentivar pesquisas sobre os impactos éticos, sociais e ambientais, reforçando um comprometimento estrutural no desenvolvimento de programas de nanotecnologia.

Segundo dados do MCT, o Brasil tem pelo menos 310 cientistas com doutorado e pós-doutorado e ainda, cerca de 500 mestrandos e doutorandos que desenvolvem pesquisas nessa área. Em 2004, foram publicados 1.100 artigos em revistas científicas internacionais. Estima-se que em 2007 chegue a 5.000 artigos e com um número também crescente em pedidos de patentes.

Os indicadores propostos para o Programa de Nanotecnologia baseiam-se nos depósitos de patentes, sendo este o primeiro passo para a inclusão de um produto, processo ou serviço no mercado. Na Fig. 4 é possível perceber o aumento no número de depósitos de patentes contendo a palavra "nano", registradas no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), principalmente, após o ano 2000. Não foram encontrados registros anteriores ao ano de 1995.

O conjunto de ações do Programa de Nanotecnologia procura contribuir para a geração de produtos e processos nanotecnológicos, desenvolvendo e fomentando ações de forma cooperativa entre empresas públicas ou

privadas, grupos de pesquisa atuantes na área e de parcerias entre universidades e empresas relacionadas às seguintes áreas:

- Agronegócio;
- Setor de energia;
- Pigmentos e tintas;
- Saneamento básico e recursos hídricos;
- Siderurgia, vidros e cerâmicos;
- Setor químico e petroquímico;
- Setor têxtil;
- Cosméticos e
- Setor de saúde (humana e animal).

A **Tabela III** resume os investimentos realizados no Brasil em nanotecnologia, no período de 2001 a 2006.

As redes de laboratórios em nanotecnologia também são apoiadas pelo MCT. Entende-se por redes de pesquisa, as associações de grupos de pesquisa que trabalham coordenadamente em um tema ou conjunto de temas previamente definidos e relacionados. Esta ação visa a manter uma estrutura estável para abrigar os projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) voltados ao desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia no país. Neste sentido, a ação apóia a recuperação e melhoria das instalações, dos equipamentos já existentes e de novos equipamentos e instalações de redes de pesquisa e de laboratórios multiusuários.

A **Tabela IV** apresenta os resultados obtidos pelas quatro principais redes de nanotecnologia, criadas em 2001.

Os recursos adicionais, provenientes dos Fundos Setoriais possibilitaram o apoio a 10 redes de pesquisa em nanotecnologia aplicada, destinando cerca de R\$ 15 milhões internalizados na FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) em 2005, para contratação em 2006 (**Tabela V**).

Pesquisas em colaboração com a França foram estimuladas com o objetivo de apoiar atividades de cooperação internacional em projetos conjuntos de pesquisas científicas, tecnológicas e de inovação, no âmbito do Programa Nacional de Nanotecnologia do Brasil.

A cooperação com países da América Latina também está prevista. Em novembro de 2005 foi realizado em Buenos Aires, o 1º *Seminário "Nanotecnologia e Empresas"*. Tal acontecimento representou o primeiro de dois eventos estabelecidos para subsidiar a estruturação do Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia e teve como objetivo apresentar aos empresários argentinos, experiências bem sucedidas das empresas brasileiras na área de nanotecnologia (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005).

2. INVESTIMENTOS EM NANOTECNOLOGIA

Os cenários relacionados aos investimentos demonstram uma expectativa positiva, seja esta relacionada ao desenvolvimento de produtos, ao tamanho de mercado potencial dos nanoproductos ou, ainda, relacionada aos valores a serem praticados pelos produtos da nanotecnologia, o que em todos estes aspectos apresenta um ambiente favorável, tanto para o contínuo desenvolvimento da tecnologia quanto para o aporte de recursos governamentais e privados (Groot & Loeffler, 2006).

Para se obter uma visão geral do estágio de desenvolvimento dos diferentes nanomateriais e sua evolução no cenário mundial, 5 níveis de desenvolvimento foram definidos (Groot & Loeffler, 2006):

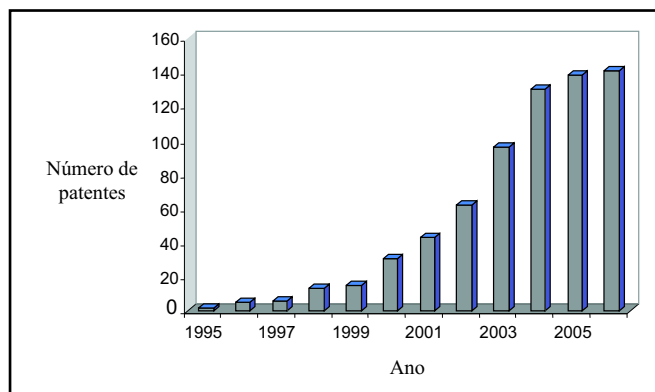


FIG. 4 - Número cumulativo de depósitos de patentes registradas no INPI, relacionadas à nanotecnologia.

TABELA III
Resumo dos investimentos no período de 2001 a 2006

Ano	Recursos (R\$)
2001	25.468.471,25
2003	11.652.097,00
2004	17.515.128,45
2005	80.057.406,88
2006	5.200.000,00
Total	139.893.103,58

TABELA IV
Resultados obtidos pelas redes criadas em 2001

Rede	Pesquisadores	Instituições	Empresas	Artigos	Patentes
Nanobiotecnologia	92	19	9	674	25
Nanoseminat	55	18	1	970	15
Nanoestruturados	150	23		225	
RENAMI	61	17	3	450	57
Total	258	77	13	991	97

Fonte: MCT, 2005.

TABELA V
Redes de pesquisa apoiadas pelos Fundos Setoriais

Título	Sigla origem	Região
Rede de nanofotônica	UFPE	NE
Rede NanoBioEstruturas ^a	UFRN	NE
Rede de Nanotecnologia molecular e de interfaces	UFPE	NE
Rede de nanobiomagnetismo	UNB	CO
Rede cooperativa de pesquisa em revestimentos nanoestruturados	PUC-RJ	SE
Microscopias de varredura de sondas	LNLS	SE
Nanotubos de carbono	UFMG	SE
Simulação e moldagem de nanoestruturas	USP/IF	SE
Nanoglicobiotecnologia	UFPR	S
Nanocosméticos	UFRGS	S

^a Rede Nacional de Nanobiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados

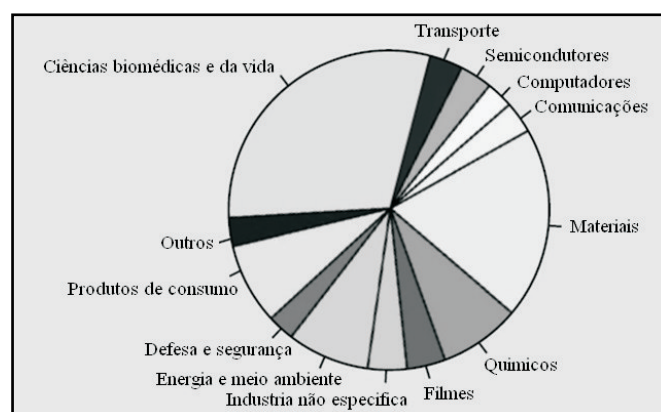
TABELA VI
Nível de desenvolvimento dos nanomateriais

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Borracha	ME												
Nanoespuma de carbono	TI			PL			DI		I			ME	
Nanotubo de carbono	ME												
Nanopartículas de sílica		I											ME
Nanocompósito de metal	DI												ME
Polímeros com Nanopartículas de carbono			DI					I					ME
PE-PEO ^a nanoestruturados		I											ME
Nanopartículas de titânio	DI		I										ME

^a Polietileno-Poli(óxido de etileno).

TABELA VII
Estimativa do tamanho do mercado o do custo dos nanomateriais

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Tamanho do mercado									
Borracha			~9,6 milhões de ton.						
Nanotubo de carbono	~700 milhões		~ 3,6 bilhões				~ 13 bilhões		
Nanopartículas de sílica	~10 milhões		~ 13 milhões				~ 40 milhões		
Polímeros com Nanopartículas de carbono	~21 milhões		~30 milhões				~75 milhões		
PE-PEO nanoestruturados	~25 ton./ano		~250 ton./ano				~500 ton./ano		
Nanopartículas de titânio	~1500 ton./ano		~3500 ton./ano				~7500 ton./ano		
Custo dos nanomateriais									
Nanotubo de carbono	~ 100 •/grama								
Nanopartículas de sílica	~ 1000 •/Kg		~ 500 •/Kg				~ 50 •/Kg		
Polímeros com Nanopartículas de carbono	~ 500000 •/Kg		~ 10000 •/Kg				~ 50 •/Kg		
PE-PEO nanoestruturados	~ 38000 •/Kg		~ 26000 •/Kg				~ 20000 •/Kg		
Nanopartículas de titânio	~ 1095 •/Kg		~ 800 •/Kg				~ 550 •/Kg		



Fonte: EmTech Research 2005

FIG. 5 - Nanotecnologia, em 2004, nos EUA (Número total de companhias = 599).

• **Tecnologia de invenção (TI)** – corresponde às primeiras etapas no processo do desenvolvimento (pesquisa teórica ou em estágio de teste).

• **Protótipo de laboratório (PL)** – pesquisa em estágio de comparação entre teoria e resultados práticos.

• **Demonstrador industrial (DI)** – neste estágio, os resultados puramente científicos podem ser introduzidos em companhias industriais interessadas.

• **Industrialização (I)** – fabricação em escala industrial.

• **Entrada do mercado (ME)** – é o estágio final no processo do desenvolvimento. O material está disponível para o consumidor.

O estágio de desenvolvimento de alguns nanomateriais, segundo esses níveis é apresentado na **Tabela VI**.

Uma estimativa do tamanho do mercado e do custo de alguns nanomateriais, em curto, médio e longo prazo estão demonstrados na **Tabela VII**.

Com o passar dos anos, espera-se que o tamanho do mercado envolvendo nanotecnologia se amplie em função da demanda, enquanto que o custo dos nanomateriais se reduza, em função de uma maior facilidade na produção, advinda do avanço da tecnologia.

3. A NANOTECNOLOGIA NA ÁREA FARMACÊUTICA

O setor biomédico e de ciências da vida é o que apresentou maior percentual de desenvolvimento em nanotecnologia em 2004 (**Fig. 5**).

As duas vertentes de grande desenvolvimento nessa área são: a encapsulação de fármacos e o desenvolvimento de nanocosméticos.

3.1 Encapsulação de fármacos

A nanotecnologia já começou a mudar a escala e os métodos de liberação de fármacos. Através dela, podem ser desenvolvidas novas formulações e novas rotas para a liberação de fármacos, que poderão ter seu potencial terapêutico aumentado, por serem liberados em locais previamente inacessíveis do corpo (Groot & Loeffler, 2006).

O uso dos nanomateriais (nanopartículas, bio-nanomateriais e polímeros) para a liberação de fármacos terá grande impacto na indústria médica e farmacêutica. A nanotecnologia, ou sistemas/dispositivos manufaturados em nível molecular é um campo científico multidisciplinar que se encontra em amplo desenvolvimento.

O uso dos nanomateriais oferece a promessa de liberar o fármaco em alvos específicos fornecendo inúmeras vantagens, tais como: a solubilidade aumentada, a resistência às enzimas gástricas, o controle de liberação ou vetorização de agentes ativos, direcionando, desta maneira, as pesquisas para o desenvolvimento de medicamentos mais sofisticados e personalizados.

Desde a década de 1980, vários sistemas de liberação de fármacos têm sido desenvolvidos (Hans & Lowman, 2002). A encapsulação passou a ser uma opção interessante como estratégia de liberação de fármacos, em função da possibilidade de reduzir a toxicidade sistêmica, proteger moléculas que são vulneráveis à degradação em ambiente fisiológico, induzir, através de propriedades específicas, à liberação controlada ou mesmo mascarar um sabor desagradável (Watts *et al.* 1990).

Recentemente, nanopartículas poliméricas atraíram atenção, como potenciais dispositivos para liberação

TABELA VIII
Nível de desenvolvimento dos nanomateriais no setor da liberação de fármacos

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Nanopartículas revestidas	ME												
Nanopartículas de óxido de ferro	TI			PL		DI		I					
Nanopartículas lipídicas	TI			PL									
Nanopartículas PAB-PDM ^a	DI	I	ME										
Nanoestruturas PAN ^b	I		ME										
Nanofibras de PLGA ^c	ME												
Nanopartículas de prata	ME												

^a PAB-PDM - Polialquilbenzeno-Polidieno;

^b PAN - Poliácilonitrila;

^c PLGA - Acido poli (lático-co-glicólico).

TABELA IX
Estimativa do tamanho do mercado e dos custos de nanomateriais no setor de encapsulação de fármacos

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Tamanho do mercado									
Nanopartículas revestidas			~15 milhões \$			~ 25 milhões \$			
Nanofibras de PLLA ^a	~ 15 ton./ano		~ 2500 ton./ano			~ 5000 ton./ano			
Nanopartículas PAB-PDM ^b	~250 ton./ano		~ 500 ton./ano			~ 2500 ton./ano			
Nanoestruturas PAN ^c	~500 ton./ano		~ 2500 ton./ano			~ 5000 ton./ano			
Nanofibras de PLGA ^d	~250 ton./ano		~ 500 ton./ano			~ 2500 ton./ano			
Nanoestruturas de PMAA/PEO ^e	~ 25 ton./ano		~ 250 ton./ano			~ 500 ton./ano			
Custo dos nanomateriais									
Nanopartículas revestidas			~ 400 €/vial			~ 400 €/vial			
Nanofibras de PLLA ^a	~30000 €/Kg		~ 23000 €/Kg			~ 18000 €/Kg			
Nanopartículas PAB-PDM ^b	~7500 €/Kg		~ 5000 €/Kg			~ 4000 €/Kg			
Nanoestruturas PAN ^c	~47000 €/Kg		~ 39000 €/Kg			~ 29000 €/Kg			
Nanofibras de PLGA ^d	~37000 €/Kg		~ 33000 €/Kg			~ 29000 €/Kg			
Nanoestruturas de PMAA/PEO ^e	~34000 €/Kg		~ 26000 €/Kg			~ 21000 €/Kg			

^a PLLA - Acido poli(L-lático)

^b PAB-PDM - Poli(alquil benzeno)-Polidieno;

^c PAN - Poliácilonitrila;

^d PLGA - Acido poli(lático-co-glicólico);

^e PMAA/PEO - Acido poli(metacrílico)/poli(óxido de etileno)

controlada de fármacos, devido à sua habilidade em direcionar a liberação em órgãos ou tecidos específicos, atuando como carreadores de DNA na terapia gênica. As nanopartículas poliméricas também ajudam a aumentar a estabilidade de fármacos e proteínas (Soppimath *et al.* 2001) e podem liberar fármacos em várias áreas do corpo por períodos prolongados (Hans & Lowman, 2002).

Nanopartículas são definidas como as partículas com diâmetro entre 1 e 1000nm, constituídas por diferentes polímeros naturais ou sintéticos, lipídios ou fosfolipídios, ou metais (Kayser *et al.*, 2005).

O fármaco é dissolvido, encapsulado ou ligado à matriz polimérica e, dependendo do método de preparação, podem ser obtidas nanoesferas ou nanocápsulas. As nanocápsulas são sistemas vesiculares em que o fármaco está confinado na cavidade da partícula e é envolvido por uma única camada polimérica de espessura variável, enquanto que nanoesferas são sistemas matriciais em que o fármaco está fisicamente e uniformemente disperso na matriz polimérica (Soppimath *et al.*, 2001).

As nanopartículas possuem maior área superficial e, conseqüentemente, a taxa de dissolução é aumentada de acordo com as equações de Noyes Whitney e Kelvin. Por exemplo: compostos pouco solúveis como o paclitaxel, ciclosporina ou anfotericina B apresentam taxa de absorção e dissolução gastrointestinal aumentada quando formulados em nanosuspensões (Jia *et al.*, 2002).

A Tabela VIII demonstra o nível de desenvolvimento, de acordo com os estágios definidos no item 2, de alguns nanomateriais utilizados no setor de liberação de fármacos. Um crescimento considerável no número de medicamentos com aplicações específicas de liberação de fármacos é esperado ao longo dos próximos anos, confirmando a necessidade de direcionamentos que estabeleçam regras de produção e comercialização, regulamentando um mercado que promete revolucionar a ciência farmacêutica e de materiais, no futuro (Grott & Loeffler, 2006).

A Tabela IX apresenta uma estimativa de tamanho de mercado e de custo de nanomateriais utilizados na encapsulação de fármacos, em curto, médio e longo prazo. Na Tabela IX verifica-se a estimativa de um mercado muito interessante, relacionado a investimento e tecnologia, em que o potencial de rentabilidade deve fomentar, de forma significativa, o desenvolvimento tecnológico nesse setor (Grott & Loeffler, 2006).

Vários produtos contendo nanomateriais encontram-se disponíveis no mercado. Como exemplos de produtos comercialmente disponíveis destacam-se:

- Lipossomas [(Doxil[®], Daunosome[®]) (Muller & Hildebrand, 1998)];
- Microemulsões (Ciclosporina);
- Nanopartículas de albumina (Abraxane);
- Nanopartículas de prata (limpeza de ferida, antibacteriano);
- Microestrutura para composição do osso humano (NanOss[®]);

- Nanopartículas para restauração dentária [(3M Espe Filtek), (Duncan, R, 2005; Grott & Loeffler, 2006)].

Convém ressaltar que o Doxil[®] (produto injetável contendo lipossomas) foi desenvolvido na Universidade Hebraica de Jerusalém, gerando, em 2004, uma receita de 400 milhões de dólares para a empresa que o comercializa, dos quais 5% (20 milhões de dólares) são destinados à Universidade, revelando o quão promissor pode ser o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à nanotecnologia no meio acadêmico e em parceria com empresas.

3.2 Cosméticos

No setor de cosméticos, muitas pesquisas e desenvolvimentos relacionados à aplicação de nanomateriais estão sendo realizados. Um grande número de patentes está fundamentado no processamento de nanomateriais no setor de cosméticos.

Nanomateriais são empregados no desenvolvimento de produtos, tais como: creme dental, protetor solar, perfumes, géis, xampus e loções, entre outros (Grott & Loeffler, 2006).

Dentre os principais nanomateriais utilizados em cosméticos destacam-se as nanopartículas hidrofóbicas de sílica, nanopartículas lipídicas, nanoestruturas de PMAA/PEO e nanopartículas de prata. As estimativas de mercado e de custo de alguns desses nanomateriais encontram-se na **Tabela IX**.

4. CONCLUSÃO

Diante das informações fornecidas neste artigo, é possível constatar o potencial de desenvolvimento de nanoprodutos, dado o crescimento do mercado e a rápida evolução dessa tecnologia. Em 2007, verificou-se um crescimento substancial na disponibilidade de nanoprodutos ao consumidor, sendo fundamental, neste momento, a busca pela normatização e garantia no manuseio e utilização desses produtos, de forma a efetivar as vantagens dessa tecnologia inovadora, evitando as armadilhas de mercado, que podem desperdiçar anos de desenvolvimento tecnológico e investimentos consideráveis. Aspectos relacionados à segurança e regulamentação dos nanomateriais serão discutidos num próximo artigo.

5. REFERÊNCIAS

1. Comissão das Comunidades Europeias, Para uma Estratégia Europeia sobre Nanotecnologias, Bruxelas, 12/5/2004.
2. Duncan, R. Nanomedicine gets clinical. *Nanotoday*, 2005: 16-17.
3. Groot, R. Loeffler, J. Roadmap report concerning the use of nanomaterials in

- the Medical & Health sector. 6th Framework Programme. European Commission, 2006.
4. Hans, M.L., Lowman, A.M. Biodegradable nanoparticles for drug delivery and targeting. *Current Opinion in Solid State and Materials Science* 2002 (6): 319-327.
5. Jia, L.; Wong, H.; Cerna, C. & Weitman, D. *Pharmaceutical Research*, 2002 (19): 1091-1096.
6. Kayser, O., Lemke, A. & Hernández-Trejo, N. The impact of Nanobiotechnology on the development of new drug delivery systems. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 2005 (6): 3-5.
7. Mateos, S.B. Pensar grande é nanopensar. *Revista da Indústria Brasileira*, p. 21-27, junho, 2003. Capturado em 25 de maio de 2006. Online. Disponível na internet <http://www.cni.org.br>.
8. Ministério da Ciência e Tecnologia-MCT. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – SETEC. Coordenação Geral Micro e Nanotecnologias – CGNT. Relatório referente à gestão do programa “Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia” no exercício de 2005.
9. Müller, R.H. & Hildebrand (Eds.), *Pharmazeutische Technologie: Moderne Arzneiformen, Lehrbuch für Studierende der Pharmazie-Nachschlagewerk für Apotheker in Offizin, Krankenhaus und Forschung 2. Erweiterte Aufl., Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1998.*
10. Murdock, S. “Nanotechnology: Where Does the U.S. Stand?”. The Research Subcommittee of the Committee on Science of the United States. *NanoBusiness Alliance*. Junho, 2005.
11. Roco, M.C. International Strategy for Nanotechnology Research and Development. *Journal of Nanoparticle Research* 2001 (3): 353-360.
12. Soppimath, K.S., Aminabhavi, T.M., Kulkarni, A.R., Rudzinski, W.E. Biodegradable polymeric nanoparticles as drug delivery devices. *Journal of Controlled Release*, 2001 (70): 1-20.
13. Watts, P.J., Davies, M.C. & Melia, C.D. Microencapsulation using emulsification/solvent evaporation: an overview of techniques and applications. *Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems*, 1990 (7): 235-259.

Endereço para correspondência
Betina Giehl Zanetti-Ramos
Programa de Pós-Graduação em Farmácia
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário - Trindade
Cep: 88040-900 - Florianópolis - SC
Fone: (48) 3721-8057
betina@ativanet.com.br