

A INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA FARMACÊUTICA NO BLOCO ECONÔMICO DO BRIC

¹Leandro Alice; ²Janis Elisa Ruppenthal; ³ Ruy Carlos Ruver Beck

*Mestre em Engenharia de Produção pelo PPGEP, UFSM; Doutora em Engenharia de Produção – Professora do Departamento de Engenharia de Produção da UFSM; Doutor em Ciências Farmacêuticas – Professor do Departamento de Produção e Controle de Medicamentos da UFRGS
larambilletty@gmail.com, proffjanis@gmail.com, ruy.beck@ufrgs.br*

Resumo - A capacidade de inovação tecnológica de uma nação é determinada pelo avanço do conhecimento científico, que por sua vez apresenta uma interconexão entre a base de conhecimento científico e a produção tecnológica. Logo, há uma relação estreita entre a capacidade de produção de riqueza e liderança em ciência e tecnologia. Nesse contexto objetiva-se mensurar a inovação advinda da produção científica em nanotecnologia farmacêutica nos países do bloco econômico BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), visando realizar um estudo comparativo entre esses países. Procura-se identificar a posição do Brasil nesse contexto, pois sabe-se que os avanços nos campos da ciência, tecnologia e inovação constituem elementos fundamentais para a promoção do desenvolvimento econômico e social sustentável de uma nação.

Palavras-chaves: *Inovação; Nanotecnologia; Fármacos; BRIC.*

ABSTRACT - The technological innovation capacity of a nation is determined by the advance of scientific knowledge, which in turn has a close interconnection between the base of scientific and technological production. So, there is a close relationship between the capacity of wealth creation and leadership in science and technology. In this context the objective is to measure the innovation coming from the scientific literature in pharmaceutical nanotechnology in the countries of BRIC bloc (Brazil, Russia, India and China), to conduct a comparative study among these countries. It seeks to identify the position of Brazil in this context because it is known that advances in science, technology and innovation are key elements for promoting economic and social development of a nation.

Keys-words: *Innovation; Nanotechnology; Drugs; BRIC.*

I INTRODUÇÃO

No contexto internacional, uma das características principais de mudanças observadas nos processos produtivos relaciona-se à intensidade de investimento em conhecimento. De fato, observa-se ao longo dos últimos anos, uma transformação fundamental no significado relativo dos investimentos em conhecimento e investimentos em capital fixo. Como consequência, em alguns setores da economia, os gastos anuais em P&D das empresas já são superiores aos seus investimentos em capital fixo, o que requer também uma mudança de perspectiva fundamental para quem está acostumado a ver o investimento em capital fixo como sendo o motor do crescimento econômico (PALACIOS *et al.*, 2009).

O disputado *ranking* em P&D de tecnologias evidencia o anseio de impactar de forma positiva ao introduzir novos

paradigmas nos comportamentos dos governos vislumbrando o crescimento econômico das nações, tornando-as auto-suficientes em tecnologias portadoras de futuro a exemplo da nanotecnologia (VAN DER VALK *et al.*, 2009).

A importância da atividade empreendedora que inova e traz riqueza à economia, gerando emprego e atendendo a necessidade social, está amplamente evidenciada no relatório do *Global Entrepreneurship Monitor*. Dentre os países que estão na corrida pela liderança dos mercados globais, o Brasil, apesar de continuar a se destacar como detentor de uma população empreendedora, requer avanços críticos para que a força do empreendedorismo possa cumprir seu papel transformador e inovador, garantindo dessa forma, o tão almejado desenvolvimento sustentável. O Brasil, ao longo dos dez anos de pesquisa apresentou média de 13% de sua população economicamente ativa empreendedora, sendo registrada uma taxa de 15% no ano de 2009 (GRECO, 2010). Embora o consolidado apresente proporções consideráveis, é ínfima a parcela de empreendedores inovadores que efetivamente apresentam uma contribuição ao ciclo econômico e à independência do país em tecnologias.

Dessa forma, almeja-se ao Brasil a relação simbiótica entre empreendedorismo e inovação. A inovação vai além do apenas crescer e manter posição no mercado. É, sobretudo, saber lançar novos produtos, processos ou até mesmo romper com os já existentes, baseando-se na “destruição criativa” proposta por Schumpeter em um relevante estudo sobre inovação (SCHUMPETER, 1997; SPENCER *et al.*, 2008).

Fundamentada por Schumpeter no passado, a “destruição criativa” começa a ser evidenciada no século XXI com o nascimento de um novo paradigma: a nanociência/nanotecnologia (SPENCER *et al.*, 2008). Surge assim, um empreendedor, a partir da nanociência associada à nova tecnologia na concepção de novos produtos e processos, e que irá conduzir para o surgimento de novos mercados nanotecnológicos (LINTON e WALSH, 2008; VAN DER VALK *et al.*, 2009).

Os avanços e o impacto social, econômico e ambiental promovidos pela inovação em tecnologia já estão presentes no cotidiano, embora não seja fácil medi-los em um campo tão vasto como da nanotecnologia. Nanotecnologia é um conceito relativamente novo que se utiliza da nanociência – algo muito antigo e que trata da estrutura básica da matéria – para diferentes aplicações e que anuncia a possibilidade de criar novos materiais, novos produtos e processos baseados na crescente capacidade da tecnologia moderna de ver e manipular átomos e moléculas. Produtos eletrônicos, têxteis, cosméticos, farmacêuticos, polímeros e muitos outros estão sendo beneficiados por essa nova tecnologia (WIEK; LANG e SIEGRIST, 2008). Com o desenvolvimento tecnológico contribuindo para surgimento de empreendimentos inovadores, investimentos na ordem de qualificação profissional e recursos

em P&D serão cada vez mais esperados (RAMOS e PASA, 2008; VAN DER VALK *et al.*, 2009). A arte de se manipular átomos e moléculas considerando a complexidade da nanotecnologia sinaliza para o aumento em especializações acerca do tema, especificamente nas titulações de mestres e doutores.

Com vista a essa difícil congregação entre empreendedorismo e inovação que contemple tanto a prospecção de uma necessária independência do Brasil em tecnologia portadora de futuro num cenário mundial, como a oportunização do empreendedorismo de base tecnológica, objetiva-se mensurar a inovação advinda da nanotecnologia com ênfase na área farmacêutica brasileira em comparação com outros países do bloco econômico BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China). Especificamente, busca-se estabelecer um estudo comparativo das publicações científicas voltadas à nanotecnologia, na área de fármacos, provenientes dos países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), nos últimos 15 anos.

O Brasil tem avançado consistentemente no desenvolvimento de relevantes ações em ciência, tecnologia e inovação, com resultados concretos na produção científica, tecnológica e formação de recursos humanos em áreas consideradas estratégicas. Porém há que se fazer muito mais, pois ciência e tecnologia não são capazes, sozinhas, de resolver os problemas dos países emergentes, contudo são componentes críticos e fundamentais para o seu desenvolvimento (MCT, 2006).

Desenvolver estudos relacionados ao empreendedorismo e nanotecnologia de fármacos é oportuno e necessário, pois a inovação oriunda de novas tecnologias é forte alternativa à criação de valor e condicionante ao desenvolvimento sustentável. Esse estudo trata essa questão comparando a inovação em nanotecnologia de fármacos no bloco econômico do BRIC.

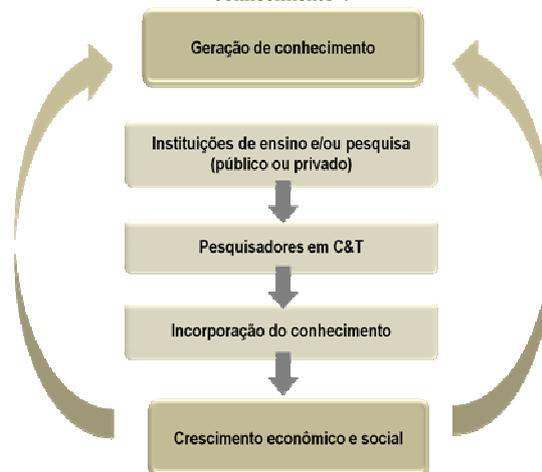
O ramo da indústria farmacêutica foi escolhido, por destacar-se como um dos setores da economia que na atualidade concentra grande atenção dos governos, pois apresenta alto potencial para promover o desenvolvimento voltado a inovação em nanotecnologia.

II INOVAÇÃO E NANOTECNOLOGIA FARMACÊUTICA

Inovar significa ter uma idéia nova ou, por vezes, aplicar as idéias de outros com eficácia e de forma original. A inovação requer dois elementos fundamentais: criatividade e idéias novas. Porém, a inovação vai além de simplesmente ter uma idéia, é indispensável que a idéia seja implementada e possua um impacto econômico positivo além de ser percebido como novo pelo indivíduo (ROGER e SHOEMAKER, 1971; SARKAR, 2007; KORNAI, 2010).

A correlação entre o desempenho da inovação e o desenvolvimento econômico tem sido reforçada ao longo das últimas décadas. Não é suficiente às economias possuírem indicadores para medir as elevadas despesas em P&D, e sim, é igualmente importante que o conhecimento gerado seja incorporado a sociedade, produzindo-se um ciclo virtuoso que conduz ao crescimento econômico (WEST III e NOEL, 2009). A Figura 1 mostra esse círculo onde estão associados geração do conhecimento à pesquisa em ciência e tecnologia (C&T) e, posteriormente, à incorporação de conhecimento pelo empreendedor, gerando crescimento econômico, que por sua vez, estimula novos investimentos na geração do conhecimento, fechando o ciclo.

Figura 1 – Ciclo Virtuoso “Crescimento econômico através do conhecimento”.



Fonte: Adaptado de Sarkar (2005)

A geração do conhecimento e da inovação em nanociência e nanotecnologia tem captado a imaginação acadêmica, mídia, política e do mundo dos negócios. Para uma melhor compreensão dessa questão inicia-se explicando que o prefixo nano tem origem na palavra grega *nános* que significa anão. Atualmente a expressão nano é utilizada em unidades de medida, significando um bilionésimo dessa unidade. Ou seja, um nanômetro equivale a um bilionésimo do metro (HIA e NASIR, 2011). A palavra tecnologia tem um significado que também deriva de palavras gregas: *téchne* e *logos*. A primeira significa arte, ofício, prática, enquanto que a segunda significa conhecimento, estudo, ciência, que pode ser descrita como a aplicação de um método científico com objetivos práticos e comerciais (DURAN *et al.*, 2006).

A nanotecnologia é definida pela *National Science Foundation* (EUA) como sendo o desenvolvimento de pesquisa e tecnologia nos níveis atômico, molecular ou macromolecular na faixa de dimensões entre 1 e 100 nm. Entretanto, em alguns casos particulares, a dimensão crítica para a obtenção de novas propriedades e fenômenos pode-se concentrar abaixo de 1 nm (manipulação de átomos) ou acima de 100 nm, como no caso das nanopartículas estudadas na área das ciências da vida, incluindo a área farmacêutica (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, NANOTECHNOLOGY DEFINITION, 2000 *apud* FRONZA *et al.*, 2007; HIA e NASIR, 2011). Quando a nanotecnologia é aplicada às ciências da vida é chamada de nanobioteecnologia (VAUTHIER *et al.*, 2003; 2009).

A nanotecnologia aplica os princípios da engenharia, eletrônica, física, ciência de materiais e preparação em nível molecular ou submicrométrico, tratando-se de tecnologia com bases científicas interdisciplinares (SAHOO e LABHASETWAR, 2003). A convergência entre diferentes áreas da ciência como a química, física, biologia, sobre a nanotecnologia gera uma ampla possibilidade de aplicações na produção de materiais, chips de computadores, materiais para diagnóstico, energia, exploração espacial, segurança e muitas outras (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, NANOTECHNOLOGY DEFINITION, 2000 *apud* FRONZA *et al.*, 2007). Todavia cabe enfatizar que na nanoescala surgem novos fenômenos que não aparecem na macroescala (DURAN *et al.*, 2006), como a prata que ao ser manipulada em nanoescala apresenta uma nova propriedade bactericida.

É importante ressaltar que embora ainda não tenham revolucionado inteiramente o cotidiano, os nanomateriais são os principais componentes no mercado futuro da alta tecnologia (ALONSO, 2004; KIM e MARTIN, 2006), com as mais diferentes aplicações em áreas como a informática, indústria têxtil, cosmética entre outras.

As ciências farmacêuticas tem estudado nas duas últimas décadas a vantagem da associação de fármacos a sistemas nanométricos, entre eles as nanopartículas poliméricas, buscando a alteração em características que favoreçam sua aplicação do ponto de vista de uso clínico e/ou de sua produção em escala industrial. Dentre essas alterações podem ser citadas o direcionamento do fármaco até o alvo de ação (vetorização), a melhora nas características de solubilidade aquosa e o aumento na sua absorção oral e ocular, a diminuição dos efeitos adversos e/ou colaterais e aumento na eficácia terapêutica, a proteção do fármaco frente a fatores de degradação, tais como a luz e o calor, entre outras aplicações (SCHAFFAZICK *et al.*, 2003).

Na área farmacêutica, os nanossistemas já estão introduzidos comercialmente como cosméticos, protetores solares e medicamentos para o tratamento do câncer, além do amplo crescimento atual no desenvolvimento e otimização de sistemas carreadores de fármacos empregando partículas biodegradáveis (CROSERÁ *et al.*, 2009).

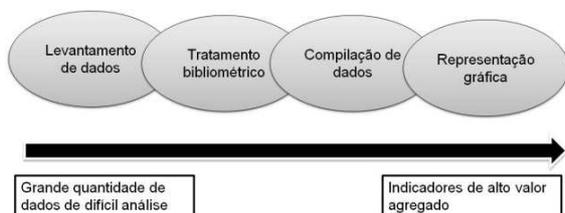
III METODOLOGIA

Atualmente, há discussões a respeito da mensuração da produção científica dos países. Para Santos *et al.* (2007), cada comunidade científica tem modos próprios de conhecer a sua produção. Portanto, é necessário identificar variáveis legítimas e adequadas para retratar a atividade coletiva de pesquisa de cada país.

Para Kleinubing (2010) uma forma de avaliar a produção científica em determinada área do conhecimento é a análise bibliométrica, que tem como objeto o estudo das referências bibliográficas e das publicações. Esta é um dos instrumentos básicos no estudo dos fenômenos da comunicação científica adquirindo importância ao adotar um método útil para mensurar a repercussão e impacto de determinados autores ou periódicos, permitindo que se conheçam as ocorrências de variação e suas tendências.

Dessa forma, sinaliza-se que os métodos bibliométricos são apropriados à gestão de qualidade de bases de dados bibliográficos que registrem a produção científica (KLEINUBING, 2010). Na Figura 2, Penteadado Filho *et al.* (2002) mostram que os indicadores são uma forma de sintetizar e agregar valor à informação.

Figura 2 – Processo de tratamento automatizado da informação.



Fonte: Penteadado Filho *et al.* (2002)

Inicialmente, ao se propor mensurar a inovação em nanotecnologia, foi necessária a definição de critérios que forneçam dados precisos e idôneos a essa finalidade. Visando atender o objetivo de traçar um comparativo nas publicações científicas em nanotecnologia entre os países que compõem o bloco econômico BRIC (Brasil, Rússia, China e Índia) foi

adotada a base de dados *Web of Science* que integra a plataforma virtual *ISI Web of Knowledge* da *Thomson Reuters*. Para esse levantamento de informações adotou-se como filtro a expressão “nano*” como forma de melhor representar a população de artigos científicos contendo nanociência e nanotecnologia no sítio. Essa expressão foi utilizada, pois possibilita uma maior abrangência entre as diferentes palavras-chave da área de nanotecnologia, como: nanopartículas, nanotubos, nanocápsulas, nanodispositivos, nanocompósitos, e outros. A classificação dos dados encontrados foi realizada por países e áreas do conhecimento com abrangência no período dos últimos 15 anos (1996 a 2010). Para cada classificação, a população analisada foi de até 100.000 dados, o que ultrapassa o número de dados avaliados a cada levantamento, garantindo uma análise contemplando a totalidade dos resultados. Os dados considerados para essa avaliação foram: número absoluto de artigos publicados/ano, participação percentual de cada país na produção mundial do ano, posição no *ranking* mundial de produção científica na área até a 25ª posição.

Posteriormente, para refinar-se a pesquisa com o propósito de focá-la no âmbito da indústria farmacêutica, utilizou-se a mesma base de dados, *Web of Science* da plataforma *ISI Web of Knowledge*, porém com um novo filtro: “nano* and drug”. A proposição dessa nova expressão foi mensurar-se a quantidade de publicações científicas contendo nanociência e nanotecnologia aplicada especificamente à área de fármacos e, consequentemente, de interesse ao setor farmacêutico. A premissa ainda consistiu na inovação mensurada através do total de publicações científicas pelos países do bloco econômico BRIC. A classificação e análise dos dados foi realizada conforme já descrito anteriormente.

A coleta de dados da pesquisa combinou os métodos bibliométricos e software (Excel), para enumerar e medir os dados obtidos na base de dados *Web of Science* (*ISI of Knowledge*). Dessa forma, esse estudo utilizou-se de coleta de dados quantitativa com o propósito de obter dados mensuráveis em plataformas e sites com a finalidade de demonstrar estatisticamente a inovação tecnológica acadêmica na área da nanociência e nanotecnologia no Brasil.

A área da nanotecnologia foi selecionada, considerando a sua classificação tanto como uma área portadora de futuro, quanto uma área estratégica para investimentos e desenvolvimento em ciência e tecnologia, enquanto que a escolha da área farmacêutica deu-se pela necessidade de desenvolvimento dos países emergentes nesse setor industrial, para que esses deixem de apenas fabricar medicamentos genéricos e passem a desenvolver medicamentos inovadores.

IV MEDIÇÃO DA INOVAÇÃO EM NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

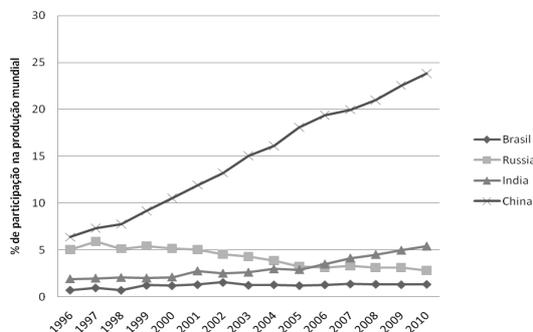
Para a medição da produção científica na área da nanociência nos países do bloco econômico BRIC, a base de dados *Web of Science* da plataforma *ISI Web of Knowledge* foi utilizada com o propósito de dimensionar-se as publicações em artigos científicos em nanotecnologia por área de pesquisa, como índice para avaliar a inovação nesse setor. Nesse levantamento adotou-se como filtro a expressão “nano*”. Inicialmente, os levantamentos foram realizados para os anos de 2005 e 2010, visando a comparação das principais áreas que contribuem nessa produção em diferentes períodos.

Como pode ser observado na Figura 3, os dados para o ano de 2005, mostram que a área da Farmácia e Farmacologia ocupava a 22ª posição, com 542 artigos publicados de um total de 37.732 ocorrências, correspondendo a um percentual de 1,44% da produção total na área. Para o mesmo ano, a análise

crucialmente a inovação de base tecnológica advinda de áreas portadoras de futuro como a nanotecnologia.

Em um estudo comparativo entre os países que compõem o bloco econômico do BRIC no que concerne às publicações científicas voltadas à nanotecnologia, a Figura 6 evidencia que ao longo dos últimos 15 anos, a China se destacou ao apresentar um crescimento vertiginoso na participação mundial nessas publicações. Por outro lado, o Brasil se destacou, nos últimos quinze anos, no contexto dos países da América Latina, cuja posição oscilou entre a 16ª e a 25ª colocação no *ranking* mundial. Quanto aos demais países da América Latina, apenas o México apareceu na 25ª posição, nos anos de 1996, 2003 e 2005, sempre abaixo da posição brasileira no *ranking*. Esses resultados estão de acordo com o estudo de Kay e Shapira (2009), apontando o Brasil como a nação da América Latina com maior número de publicações científicas na área de nanotecnologia no período de 1990 a 2005, cabendo ao México a segunda colocação.

Figura 6 – Participação (%) na produção mundial de artigos científicos pelos países do bloco econômico BRIC contendo a expressão “nano*”.

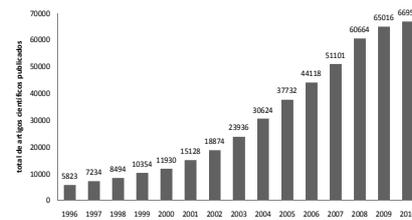


Fonte: Base de dados *Web of Science (ISI Web of Knowledge)*

Em 2010 as publicações contemplando o termo “nano*” na base de dados da *Web of Science* totalizavam 66.958, sendo que dessas, 15.996 publicações corresponderam à produção da China. O país respondeu sozinho a 23,84% do total das publicações para esse ano, colocando-se na 1ª posição do *ranking*. No mesmo ano, a soma de 6.416 publicações científica dos demais países do bloco econômico chegou a 40,11% da produção individual da China. No *ranking* os países do BRIC, o 6ª lugar ficou com a Índia com uma produção de 3.629 artigos, perfazendo um percentual de 5,41% na produção mundial; 12ª lugar com a Rússia, totalizando 1.886 produções e um percentual de 2,82% e; Brasil com a 19ª colocação com um total de produção de 901 artigos e percentual de 1,35% na produção mundial.

Embora os resultados demonstrem que o Brasil ocupe uma situação confortável por pertencer aos 20 países que mais produzem artigos científicos voltados ao tema da nanotecnologia, a situação para o ano de 2010 apresentou queda de uma posição em relação a 2009 e, duas posições em relação a 2008. O Brasil e a Rússia (queda de uma posição em 2009) foram os países do BRIC que caíram posições nesse *ranking* nos últimos 3 anos (2008-2010). No caso do Brasil, essa queda de posição, apesar da relativa manutenção dos percentuais de contribuição na produção mundial na área nano (1,36%, 1,31% e 1,35% em 2008, 2009 e 2010, respectivamente), significou que o país desacelerou o crescimento na produção científica da área. Em contrapartida, o crescimento mundial das publicações na área nano mostra-se exponencial, conforme observado na Figura 7.

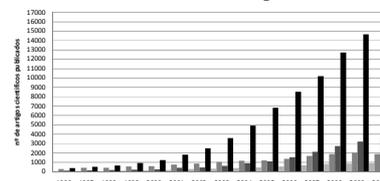
Figura 7 – Total mundial de artigos científicos publicados nos últimos 15 anos contemplando o termo “nano*”.



Fonte: Base de dados *Web of Science (ISI Web of Knowledge)*

A participação individual nessa produção mundial (em números absolutos) pelos países que compõem o bloco econômico BRIC está representada na Figura 8, mostrando o número total de artigos científicos publicados na área nano no período entre 1996 e 2010. A partir dessa figura, pode-se observar um crescimento acelerado para a China e em menor proporção à Índia, enquanto a Rússia e o Brasil permanecem em ritmo de crescimento muito mais lento em comparação com o crescimento mundial observado na Figura 7. Tomando-se por base essas comparações, é importante observar a relevância do fomento, aprimoramento e estímulo ao empreendedorismo de inovação suporta a alavancagem das áreas portadoras de futuro no Brasil, como a nanotecnologia. Pois, dessa forma, o país, ao contrário do que o estudo da *Goldman Sachs (GS)*, em 2003, considerou, deixaria de ser apenas fornecedor de matérias-primas e produtos agropecuários, passando também a ocupar posição de destaque mundial no domínio de novas tecnologias.

Figura 8 – Total de artigos científicos publicados por país do bloco econômico BRIC no período entre 1996 e 2010.



Fonte: Base de dados *Web of Science*

Visando uma comparação e melhor compreensão dos dados discutidos, a Tabela 1 apresenta o resultado consolidado das produções da área nano pelos países do BRIC nos anos de 2010, 2005, 2000 e 1996, representando os últimos 15 anos.

Tabela 1 – Produção científica dos países do BRIC na área de nanotecnologia nos anos de 1996, 2000, 2005 e 2010, representando os últimos 15 anos.

País	Ano	Nº artigos	% na produção mundial	Posição no Ranking
Brasil		901	1,35%	19^a
Rússia	2010	1.886	2,82%	12 ^a
Índia		3.629	5,41%	6 ^a
China		15.996	23,84%	1 ^a
Brasil		455	1,21%	19^a
Rússia	2005	1.225	3,25%	8 ^a
Índia		1.094	2,90%	11 ^a
China		6.819	18,07%	2 ^a
Brasil		143	1,20%	19^a
Rússia	2000	614	5,15%	7 ^a
Índia		250	2,10%	13 ^a
China		1.256	10,53%	4 ^a
Brasil		42	0,72%	22^a
Rússia	1996	293	5,03%	6 ^a
Índia		111	1,91%	13 ^a
China		371	6,37%	5 ^a

Fonte: Base de dados *Web of Science*

Em termos absolutos de investimentos pelo Brasil nas áreas de P&D e nanociência/nanotecnologia no período de 2004 a 2007, a Tabela 2 mostra que apesar do montante investido em nanociência e nanotecnologia representar um valor expressivo na ordem de milhões de reais, esses valores correspondem a menos do que 1% do montante total investido pelo governo federal em P&D. Essa verificação permite inferir que o aumento nos investimentos à área de nanociência e nanotecnologia pelo governo, tem apenas oportunizado o país a se manter de maneira estável no *ranking* mundial de publicações científicas. A partir dos dados apresentados, evidencia-se a necessidade de um maior aporte financeiro à área para tornar o Brasil mais competitivo, para ocupar um destaque maior entre os demais países do mundo e também entre os países do BRIC na área de nanociência e nanotecnologia.

Tabela 2 – Dados quantitativos apoiados em P&D e Nanociência/Nanotecnologia no Brasil de 2004 a 2007.

Ano	P&D (em milhões R\$)	Nanociência & Nanotecnologia (em mil R\$)	Relação em %
2004	6.418,30	5.287,82	0,082%
2005	7.085,20	36.871,91	0,520%
2006	8.483,50	26.078,21	0,307%
2007	10.444,80	53.929,33	0,516%

Fonte: MCT/Brasil.

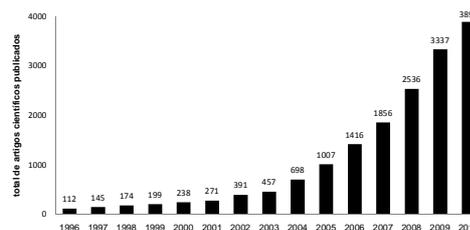
Considerando a distribuição regional dos investimentos em nanociência e nanotecnologia no Brasil, os dados apresentados pelo MCT indicam que do total de cerca de 122 milhões de reais investidos nesta área pelo governo brasileiro, no período de 2004 a 2007, a região sudeste recebeu o maior aporte de recursos (59,8%), seguida pela região sul (16,3%), nordeste (14,8%), centro-oeste (9%), e por último, pela região norte (0,2%) (MCT, 2010).

Para proceder a avaliação da produção científica na área de nanociência e nanotecnologia de interesse à indústria farmacêutica, partiu-se novamente da base de dados *Web of*

Science (ISI Web of Knowledge) como fonte de informações na obtenção dos dados visando dimensionar as publicações em artigos científicos em nanociência e nanotecnologia específicos à área de fármacos e consequentemente, como índice de avaliação da inovação do setor farmacêutico. Para esse levantamento foi adotado como filtro na base de dados a expressão “nano* and drug”. O período entre 1996 e 2010 foi considerado para essa comparação entre os países que compõem o bloco econômico do BRIC.

Inicialmente, para demonstrar o interesse internacional na área, avaliou-se o número total de artigos científicos publicados nesse período, cujos dados estão apresentados na Figura 9. A partir dessa Figura, observa-se um crescimento expressivo no número de artigos publicados na área de nanotecnologia e fármacos. Traçando-se um comparativo com o total de produção científica no ano de 2010 contendo o filtro “nano*” representando a produção total na área de nanociência e nanotecnologia, a produção específica na área de nano e fármacos (nano* and drug) corresponde a uma participação de 5,81% na produção total. Comparando-se nesse percentual a participação de Farmácia e Farmacologia (2,17%) conforme apresentado e discutido anteriormente (Figura 4), pode-se observar que outras áreas também contribuem para a inovação na área de nanotecnologia e fármacos, entre elas a química, engenharia, ciências biomédicas, ciências dos materiais, medicina, entre outros, caracterizando a sua multidisciplinaridade.

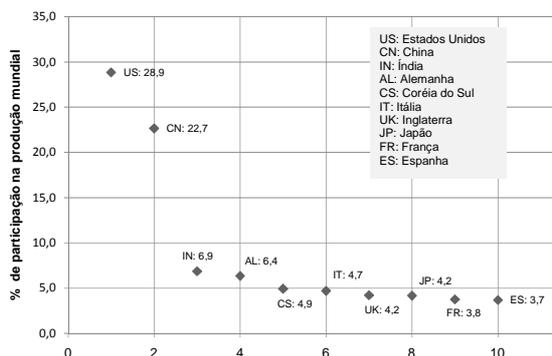
Figura 9 – Total mundial de artigos científicos publicados nos últimos 15 anos contemplando o termo “nano* and drug”.



Fonte: Base de dados *Web of Science (ISI Web of Knowledge)*

Visando-se apresentar um panorama da participação dos países que representam a maior contribuição em termos percentuais na produção de artigos na área de nanotecnologia e nanociência, especificamente na área de fármacos (“nano* and drug”), a Figura 10 apresenta a distribuição dos dez primeiros países no *ranking* mundial em 2010. Nesse contexto, os Estados Unidos passam a ocupar a primeira posição no *ranking* quanto à produção de artigos científicos nessa área, seguidos da China. Tecendo a comparação com a produção apenas na área de nanociência e nanotecnologia, observa-se que os países que ocupam as dez primeiras colocações são os mesmos, com algumas alterações quanto as suas posições no *ranking*, a exemplo da inversão entre a primeira e segunda colocação, conforme mencionado anteriormente, e da Índia que passou da 6^a para a terceira posição. Por outro lado, o Japão cai da terceira para a oitava posição.

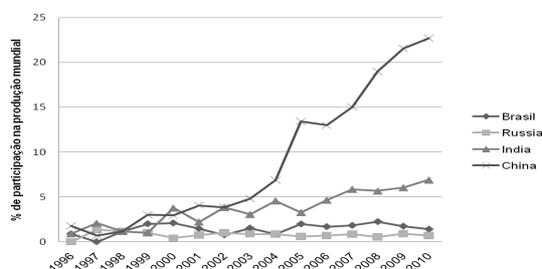
Figura 10 – *Ranking* dos 10 primeiros países na produção mundial de artigos científicos (%) na área de nanociência e nanotecnologia e fármacos no ano de 2010.



Fonte: Base de dados *Web of Science (ISI Web of Knowledge)*

Seguindo a sistemática comparativa entre os países do BRIC em relação ao restante dos países do mundo, as publicações científicas destinadas à nanociência e nanotecnologia especificamente na área de fármacos, a Figura 11 demonstra que no período de 1996 a 2010, a China permanece em destaque entre os países do BRIC na participação mundial dessas publicações, seguida pela Índia, já observada anteriormente na Figura 8. Por outro lado, o Brasil também se destacou nesse parâmetro na área de nanotecnologia e fármacos no contexto dos países da América Latina nos últimos 15 anos. Quanto aos demais países da América Latina, outros também configuraram eventualmente entre as 25 nações que mais produziram artigos científicos na área nesse período, entre eles, o Chile e o Uruguai, em 1996 ocupando a mesma posição no *ranking* que o Brasil (17ª), enquanto que a Argentina esteve melhor posicionada no *ranking* entre todos da América Latina (11ª). Nos anos seguintes, a Argentina ocupou a mesma posição do Brasil (14ª) em 1998, a 22ª em 2000, enquanto o Brasil novamente ocupava a 14ª e o México, que apareceu no *ranking* apenas em 2006, ocupando uma posição inferior (25ª) ao Brasil (17ª). Com base nesses dados, fica evidente a liderança do Brasil dentro da América Latina na publicação de artigos nos últimos 15 anos em nanotecnologia na área de fármacos. Esses resultados novamente confirmam as questões apontadas no estudo de Kay e Shapira (2009), incluindo dados atualizados, já que o estudo contemplava o período de 1990 a 2005.

Figura 11 – Participação (%) na produção de artigos científicos do bloco econômico BRIC contendo a expressão “nano* and drug” nos últimos 15 anos.



Fonte: Base de dados *Web of Science (ISI Web of Knowledge)*.

No ano de 2010 as publicações na base de dados *Web of Science (ISI Web of Knowledge)*, voltados à área de pesquisa em nanotecnologia e fármacos, somavam um total de 3.893

artigos, sendo que desses, 883 artigos publicados tiveram a participação da China e 269 da Índia. Esses dois países juntos correspondiam a um percentual de 29,59% do total mundial de publicações em nanociência e nanotecnologia em fármacos, ocupando a 2ª e 3ª posição no *ranking* mundial, respectivamente. Observa-se que a 1ª posição no *ranking* é ocupada pelos EUA. Quanto aos demais países do bloco econômico, o Brasil pela primeira vez, apresentou uma considerável melhora dentro do bloco econômico nesse ano, superando a Rússia em número de artigos publicados e classificação mundial. Em 2010, o país contribuiu com 55 artigos publicados (1,41%) e ocupou a 17ª posição, enquanto a Rússia com 27 publicações (0,69%) ocupava a 25ª posição no *ranking* mundial.

Porém, essa situação não é confortável ao Brasil, pois no ano de 2009, o país ocupava a 16ª posição no *ranking* mundial com 58 artigos publicados e um percentual de 1,74%, em um total mundial de 3.337, significando a queda de uma posição em relação ao restante do mundo. Esse dado mostra que o país não parou de produzir artigos científicos na área de nanotecnologia e fármacos (nano* and drug) em comparação ao restante do mundo, e sim, desacelerou seu ritmo de crescimento. Isso também pode ser percebido com relação a Rússia para o mesmo ano. O país havia contribuído com um número total de 30 publicações de artigos na área de nano e fármacos ocupando a 21ª posição no *ranking*. A situação da Rússia dentro do bloco econômico apresenta-se desfavorável, pois o país despencou quatro posições nesses dois últimos anos de pesquisa. Por outro lado, os países, China e a Índia, não apresentaram alteração com suas classificações no *ranking* mundial, ocupando a 2ª e 3ª posição, respectivamente. Nesse ano de 2009, a China produziu 719 artigos científicos com 21,55% do total mundial de publicações e a Índia 202 artigos publicados perfazendo um percentual de 6,05%.

Para uma melhor compreensão da participação do bloco econômico BRIC na produção científica mundial, oportunizando um melhor acompanhamento do desempenho individual a cada país que o compõe, é necessário realizar uma análise em anos anteriores, pontualmente.

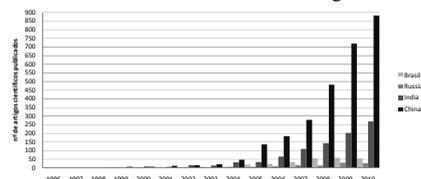
Em 2005, a produção mundial de artigos científicos contendo nanotecnologia e fármacos correspondia a uma totalidade de 1.007 publicações. Desse total, 135 artigos eram da China com um percentual de 13,41%, ocupando a 2ª posição no *ranking* mundial. Percebe-se que nesse país, nos últimos 5 anos, absolutamente nada mudou em termos de desempenho nas publicações científicas. Todavia, algumas diferenças podem ser percebidas aos demais países: Brasil, Rússia e Índia. Da totalidade de publicações no ano de 2005, o Brasil correspondia a exatamente 20 artigos científicos, 1,99% da produção mundial, ocupando a 15ª posição no *ranking*. A Rússia havia contribuído com apenas 6 publicações científicas, em um percentual de 0,60% da totalidade mundial e na 26ª posição. Já a Índia começava a apresentar sinais de melhora na classificação geral no *ranking*. Com 33 artigos científicos e um percentual de 3,28% na produção mundial, passou a desfrutar a 10ª posição no *ranking* mundial.

Em uma retrospectiva de mais 5 anos, a situação apresentava-se ainda mais instável para os quatro países do BRIC. Em 2000, a totalidade de artigos científicos contemplando a nanotecnologia de interesse ao setor farmacêutico, era de 238 artigos. A contribuição de cada país mostrava-se da seguinte forma: 5 publicações do Brasil com um percentual de 2,10% e na 14ª classificação; 1 publicação da Rússia com 0,42% e ocupando a 22ª posição; 9 publicações da Índia com um percentual de contribuição mundial de 3,78% e

desfrutando da 8ª posição no *ranking*, e; 7 publicações científicas da China com um percentual de 2,94%, cabendo-lhe a 9ª posição no ranking mundial. Portanto, é possível perceber que no ano de 2000, o Brasil ocupava uma situação relativamente confortável em termos de pesquisas na área da nanociência e nanotecnologia voltada ao setor farmacêutico.

A participação individual na produção mundial pelos países que compõem o bloco econômico BRIC mostrando o número total de artigos científicos publicados na área nanotecnologia de fármacos no período entre 1996 e 2010 está representada na Figura 12. Analisando-se a mesma, pode-se observar que, novamente o crescimento é expressivo para a China e em menor proporção para a Índia, enquanto a Rússia e o Brasil permanecem em ritmo de crescimento muito lento em comparação com o crescimento mundial observado na Figura 12, configurando, dessa forma, quase uma estagnação. Tomando-se essas comparações, fica cada vez mais evidente a importância da promoção de políticas de incentivo à P&D em áreas como a nanotecnologia de fármacos que possibilitem ao Brasil conquistar ritmo de crescimento na produção de tecnologias de ponta. O fortalecimento ao setor industrial farmacêutico, bem como o surgimento de empreendimentos inovadores de base nanotecnológica no país, só será possível à medida que recursos financeiros sejam realocados na promoção e fomento de pesquisas de novos fármacos e medicamentos inovadores. Esses resultados demonstram que, apesar dos recentes investimentos na área pelo governo brasileiro, conforme apresentado e discutido anteriormente, o Brasil tem conseguido apenas crescer na mesma velocidade que a grande maioria dos demais países do mundo. Entretanto, para que ele continue no caminho do desenvolvimento, é importante que esse crescimento seja impulsionado, o que novamente sugere a necessidade de um maior incentivo à área pelos governantes.

Figura 12 – Total de artigos científicos publicados por país do bloco econômico BRIC no período entre 1996 e 2010 contendo a expressão “nano* and drug”.



Fonte: Base de dados *Web of Science (ISI Web of Knowledge)*

Para uma melhor comparação das produções da área nanotecnologia e fármacos entre os países do bloco econômico BRIC, a Tabela 3 apresenta o resultado consolidado a cada dois anos, no período de 1996 a 2010.

Tabela 3 – Produção científica dos países do BRIC na área de nanotecnologia e fármacos no período entre 1996 e 2010.

País	Ano	Nº artigos	% na produção mundial	Posição no <i>Ranking</i>
Brasil		55	1,41%	17^a
Rússia	2010	27	0,69%	25 ^a
Índia		269	6,91%	3 ^a
China		883	22,68%	2 ^a
Brasil		2008	51	2,25%
Rússia	14		0,55%	27 ^a

País	Ano	Nº artigos	% na produção mundial	Posição no <i>Ranking</i>
Índia	2006	144	5,68%	5 ^a
China		481	18,97%	2 ^a
Brasil		24	1,69%	17^a
Rússia		10	0,70%	26 ^a
Índia	2004	66	4,66%	6 ^a
China		184	12,99%	2 ^a
Brasil		6	0,86%	23^a
Rússia		6	0,86%	23 ^a
Índia	2002	32	4,58%	9 ^a
China		48	6,88%	5 ^a
Brasil		3	0,77%	19^a
Rússia		4	1,02%	14 ^a
Índia	2000	15	3,84%	9 ^a
China		15	3,84%	9 ^a
Brasil		5	2,10%	14^a
Rússia		1	0,42%	22 ^a
Índia	1998	9	3,78%	8 ^a
China		7	2,94%	9 ^a
Brasil		2	1,15%	14^a
Rússia		2	1,15%	14 ^a
Índia	1996	2	1,15%	14 ^a
China		2	1,15%	14 ^a
Brasil		1	0,89%	17^a
Rússia		0	0%	-
Índia	1996	1	0,89%	17 ^a
China		2	1,79%	11 ^a

Fonte: Base de dados *Web of Science (ISI Web of Knowledge)*

V CONCLUSÃO

Os dados analisados quanto à participação brasileira na produção científica mundial em nanotecnologia e nanotecnologia farmacêutica, demonstraram que o país está colocado na melhor posição no *ranking* mundial em relação a outros países da América Latina nos últimos quinze anos. A análise no contexto do bloco econômico BRIC mostrou que o país não apresenta o mesmo nível de crescimento na produção de conhecimento na área em relação à China e Índia. Por outro lado, o Brasil tem apresentado melhor desempenho que a Rússia.

A análise desse panorama apresentou um comportamento quase estagnado do Brasil na produção de conhecimento na área de nanotecnologia e nanotecnologia farmacêutica, apesar dos investimentos específicos na área pelos órgãos de fomento, iniciados no ano de 2001. Assim, pode-se constatar que o nível desses investimentos ainda é ínfimo, limitando-se ao nível mínimo, unicamente para que o Brasil se mantivesse na mesma posição no *ranking*. A partir disso, fica evidente que para que o Brasil possa continuar inovando nessa área e ocupar uma melhor posição no *ranking*, contribuindo de forma efetiva para o crescimento econômico e social, é fundamental que sejam aumentadas as ações por parte do governo nacional para alavancar essa área.

Para que uma nação atinja um nível adequado de desenvolvimento numa determinada área, é fundamental que além do conhecimento científico, sejam criadas oportunidades para a chegada ao mercado de produtos inovadores.

O Brasil tem avançado consistentemente no desenvolvimento de relevantes ações em ciência, tecnologia e inovação, com resultados concretos na produção científica, tecnológica e formação de recursos humanos em áreas consideradas estratégicas. Porém há de se fazer muito mais,

pois ciência e tecnologia não são capazes, sozinhas, de resolver os problemas dos países emergentes, contudo são componentes críticos e fundamentais para o seu desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, M. J. Nanomedicines for overcoming biological barriers. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 58, p. 168-172, 2004.
- CROSERA, M.; BOVENZI, M.; MAINA, G.; ADAMI, G.; ZANETTE, C.; FLORIO, C.; LARESE, F. F. Nanoparticle dermal absorption and toxicity: a review of the literature. **International Archives of Occupational Environmental Health**, v. 82, p. 1043-1055, 2009.
- DURAN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. **Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artliber Editora, 2006.
- FRONZA, T.; GUTERRES, S.; POHLMANN, A.; TEIXEIRA, H. **Nanocosméticos: em direção ao estabelecimento de marcos regulatórios**. Porto Alegre: Gráfica UFRGS, 2007.62p.
- GOLDMAN SACHS. **Dreaming With BRICs: The Path to 2050**. Global Economics. Paper n. 99. 2003.
- _____. **The 'B' in BRICs: Unlocking Brazil's Growth Potential**. 2007. Disponível em: <http://www2.goldmansachs.com/ideas/brics/BRICs-and-Beyond.html>. Acesso em: 20/11/2010.
- GRECO, S. M. de S. S. *et al.* **Empreendedorismo no Brasil: 2010**. Curitiba: IBQP, 2010.
- HIA, J.; NASIR, A. Photonanodermatology: the interface of photobiology, dermatology and nanotechnology. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v.27, p.2-9, 2011.
- KAY, L.; SHAPIRA, P. **Developing nanotechnology in Latin America**. J Nanopart Res. Springer. v 11; pp. 259-278. 2009.
- KIM, D.; MARTIN, D. C. Sustained release of dexamethasone from hydrophilic matrices using PLGA nanoparticles for neural drug delivery. **Biomaterials**, v. 27, p. 3031-3037, 2006.
- KLEINUBING, L. da S. Análise bibliométrica da produção científica em gestão da informação na base de dados LISA. **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2010.
- KORNAL, J. Innovation and dynamism: Interaction between systems and technical progress. **Economics of Transition**, v. 18, n. 4, p. 629-670, 2010.
- LINTON, J. D.; WALSH, S. T. Acceleration and extension of opportunity recognition for nanotechnologies and other emerging technologies. **International Small Business Journal**, London. v. 26 (1), p. 83-99, 2008.
- MCT. **Relatório Nanotecnologia: investimentos, resultados e demandas**. Ministério da Ciência e da Tecnologia. Brasília, junho de 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2010.
- _____. **Relatório Analítico: programa de C,T&I para Nanotecnologia**. Ministério de Ciência e Tecnologia. Brasília, 2010. Disponível em <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2010.
- PALACIOS, D.; GIL, I. GARRIGOS, F. The impact of knowledge management on innovation and entrepreneurship in the biotechnology and telecommunications industries. **Small Business Economic**, v. 32, p. 291-301, 2009.
- PENTEADO FILHO, R. C.; FARIA, L. I. L.; VIEIRA, J. L. G.; KURIHARA, M. H.; AVILA, A. F. D.; QUONIAM, L. Aplicação da bibliometria na construção de indicadores sobre a produção científica da Embrapa. In: Workshop brasileiro de inteligência competitiva gestão do conhecimento. Congresso anual da sociedade brasileira de gestão do conhecimento. São Paulo. **Anais**, 2002.
- RAMOS, B. G. Z.; PASA, T. B. C. O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 89, n. 2, p. 95-101, 2008.
- ROGERS, E.; SCHOEMAKER, F. **Communication of innovations: A cross cultural approach**. Free Press, 1971.
- SANTOS, R. N. M. *et al.* Análise cientométrica de produção científica por meio de dissertações e teses: uma experiência brasileira. In: Congresso Iberoamericano de Indicadores de Ciência e Tecnologia, 7. **Anais**. São Paulo, 2007.
- SAHOO, S. K., LABHASETWAR, V. Nanotech approaches to delivery and imaging drug. **Drug Discovery Today**, 8, 1112-1120, 2003.
- SARKAR, S. **Empreendedorismo e inovação**. Lisboa: Escolar Editora, 2007.
- _____. Innovation and market structures: na integrated approach. **International Journal of Innovation and entrepreneurship Management**, v. 5. p. 336-378, 2005.
- SCHAFFAZICK, S. R.; FREITAS, L. L.; POHLMANN, A. R.; GUTERRES, S. S. Caracterização e estabilidade físico-química de sistemas poliméricos nanoparticulados para administração de fármacos. **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 726-737, 2003.
- SCHUMPETER, J. A.. **Teoria do desenvolvimento econômico**. Uma investigação sobre lucros. São Paulo: Nova Cultural, 1997.
- SPENCER, A. S.; KIRCHHOFF, A. B.; WHITE, C. Entrepreneurship, Innovation, and Wealth Distribution: The Essence of Creative Destruction. **International Small Business Journal**. v. 26; n. 9. 2008.
- VAN DER VALK, T.; MOORS, E. H. M.; MEEUS, M. T. H. Conceptualizing patterns in the dynamics of emerging technology: the case of biotechnology developments in the Netherlands. **Technovation**, v.29, p.247-264, 2009.
- VAUTHIER, C.; DUBERNET, C.; FATTAL, E. *et al.* Poly(alkylcyanoacrylates) as biodegradable materials for biomedical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 55, p. 519-548, 2003.
- VAUTHIER, C.; BOUCHEMAL, K. Preparation and manufacture of polymeric nanoparticles. **Pharmaceutical Research**, v. 25, p.1025-1058, 2009.
- WEST III, G. P.; NOEL, T. W. The impact of knowledge resources on new venture performance. **Journal of Small Business Management**, v. 47, n.1, p. 1-22, 2009.
- WIEK, A.; LANG, D. J.; SIEGRIST, M. Qualitative system analysis as a mean for sustainable governance of emerging technologies: the case of nanotechnology. **Journal of Cleaner Production**, v.16, p.988-999, 2008.