

A pesquisa brasileira dedicada à nanotecnologia e riscos à saúde e ao meio ambiente

Brazilian research dedicated to nanotechnology and risks to health and environment

La investigación brasileña dedicada a la nanotecnología y los riesgos para la salud y el medio ambiente

Maria Simone de Menezes Alencarⁱ

Rosany Bochnerⁱⁱ

Miriam Ferreira Freire Diasⁱⁱⁱ

Resumo

A nanotecnologia tem grande potencial para transformar a ciência e a indústria nas mais diversas áreas. A despeito do interesse em pesquisas nessa área, a segurança e o impacto da nanotecnologia para a saúde ainda são pouco explorados. Este estudo visa identificar a pesquisa realizada no Brasil concernente aos riscos que envolve o uso da nanotecnologia. Para tanto, baseou-se no Diretório de Grupos de Pesquisa e no Currículo Lattes. Foram recuperados 798 artigos sobre nanotecnologia e saúde. Destes, somente 41 referem-se a temas relacionados a questões do meio ambiente, de saúde e segurança, mostrando o baixo volume de pesquisas nessa área no país. Foram utilizadas técnicas bibliométricas, com software de mineração de dados para a filtragem e análise dos resultados. A produção científica nacional sobre o assunto mostrou-se pulverizada em diversos periódicos. O surgimento de novas temáticas, nos últimos anos, pode representar um desejável indicador de crescente interesse por questões regulatórias e sociais no país.

Palavras-chave: Bibliometria; Nanotecnologia; Riscos ambientais; Saúde; Toxicologia

ⁱ Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (Icict), Laboratório de Informação Científica e Tecnológica em Saúde (LICTS). Rio de Janeiro, Brasil | salencar@gmail.com | lattes.cnpq.br/1933365741854449

ⁱⁱ Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (Icict), Laboratório de Informação Científica e Tecnológica em Saúde (LICTS). Rio de Janeiro, Brasil | rosany.bochner@icict.fiocruz.br | lattes.cnpq.br/8554361637363428

ⁱⁱⁱ Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (Icict), Laboratório de Informação Científica e Tecnológica em Saúde (LICTS). Rio de Janeiro, Brasil | miriam.brazil@gmail.com | lattes.cnpq.br/8770288540600401

Abstract

Nanotechnology has great potential to transform science and industry in a lot of areas. Despite the large interest in research in this area, the safety risks and the impact of the use of nanotechnology on health are still underexplored. This study aims to identify the research conducted in Brazil regarding the risks involving the use of nanotechnology. It was based on Directory of Research Groups and on Currículo Lattes. We detected 798 articles about nanotechnology and health, but only 41 of them making reference to environmental, health and safety issues, showing the small volume of researches about this subject in Brazil. Bibliometric techniques and data mining software were used for the selection and analysis of results. The scientific production in question is scattered in different periodicals. The emergence of new themes in recent years may represent a desirable indicator of growing interest in regulatory and social issues in Brazil.

Keywords: Bibliometrics; Nanotechnology; Environmental risks; Health; Toxicology

Resumen

La nanotecnología tiene un gran potencial para transformar la ciencia y la industria en varias áreas. A pesar del interés por la investigación en esta área, la seguridad y el impacto de la nanotecnología en la salud son aún poco explorados. El objetivo de este estudio es identificar las investigaciones realizadas en Brasil con relación a los riesgos que implica el uso de la nanotecnología. Para hacer eso fueron empleados el Directorio de los Grupos de Investigación y el Currículo Lattes. Fueron detectados 798 artículos sobre nanotecnología y la salud. Sólo 41 de ellos se refieren a temas relacionados con las cuestiones de medio ambiente, salud y seguridad, que muestra el pequeño volumen de investigaciones en esta área en Brasil. Técnicas bibliométricas fueron usadas con software de la minería de datos para selección y análisis de resultados. La producción científica nacional que trata el asunto resultó ser esparcida en diversas publicaciones periódicas. La aparición en los últimos años de nuevos temas puede representar un indicador conveniente de creciente interés en temas regulatorios y sociales en Brasil.

Palabras clave: Bibliometría; Nanotecnología; Daños ambientales; Salud; Toxicología

Submetido: 1/abr/2014

Aceito: 24/jul/2014

Conflitos de interesse: Não há conflitos de interesse a declarar

Fontes de financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio de bolsas de pesquisa.

Contribuição autoral

Concepção, planejamento do trabalho, desenho do estudo, análise e interpretação de resultados, redação, revisão das versões preliminares e definitiva; aprovação da versão: Maria Simone de Menezes Alencar

Concepção, análise e interpretação de resultados, redação, revisão das versões preliminares e definitiva; aprovação da versão: Rosany Bochner

Planejamento do trabalho, levantamento de dados: Miriam Ferreira Freire Dias

Introdução

A nanotecnologia é um conjunto de técnicas, tecnologias e processos para a preparação, caracterização, manipulação de átomos ou moléculas visando ao desenvolvimento de novos materiais em escala nanométrica, com propriedades físicas, químicas e biológicas relacionadas ao tamanho das partículas. Vem despertando crescente interesse em todo o mundo, sendo caracterizada como uma convergência de diferentes disciplinas científicas e tecnológicas. Este fato traz importantes implicações não apenas para o desenvolvimento da nanotecnologia em si, mas também para questões de governança e regulação nessas áreas emergentes^{1,2}.

A nanotecnologia tem grande potencial para transformar a ciência e a indústria nas áreas de energia, materiais, meio ambiente e medicina. Em termos de investimentos, a indústria global de nanotecnologia foi avaliada em US\$ 300 bilhões, em 2011, e há uma estimativa de ter alcançado US\$ 1,6 trilhões no final de 2013. O setor de maior crescimento, a nanobiotecnologia, deve ter um crescimento mais rápido, alcançando US\$ 6 bilhões até 2017³.

Diante desse cenário, o uso da nanotecnologia na área de saúde mostra-se irreversível. No entanto, a segurança e o impacto do seu uso para a saúde são pouco conhecidos. Segundo Paschoalino, Marcone e Jardim⁴, apesar da importância dos estudos para se avaliar a toxicidade dos nanomateriais, o volume de pesquisas para avaliação de riscos ainda se mostra incipiente.

No entanto, em todo o mundo são feitos estudos relacionados à saúde ambiental e aos impactos na segurança, incluindo o entendimento, medição e prevenção dos efeitos adversos da nanotecnologia no ambiente e em sistemas biológicos. Estudos de toxicidade e métodos preditivos relacionados à interação das nanopartículas com o meio ambiente e com o corpo humano são focos de intensas pesquisas, incluindo o transporte e destino final de nanopartículas engenheiradas e de seus subprodutos⁵.

Neste sentido, o objetivo deste estudo é identificar a pesquisa realizada no Brasil concernente aos riscos que o uso da nanotecnologia envolve, a partir de dados constantes na Plataforma Lattes. Visa contribuir para o crescimento da pesquisa na área, dando visibilidade a autores e redes de coautorias no tema e periódicos por onde escoam a produção científica nacional sobre o assunto.

Metodologia

A metodologia adotada baseou-se em fontes de informação nacionais relacionadas à pesquisa científica, presentes na Plataforma Lattes: Diretório de Grupos de Pesquisa (DGP) e Currículo Lattes. A premissa adotada é que os grupos de pesquisa refletem o trabalho desenvolvido sobre determinados temas, no Brasil, e fornecem informações sobre os que nele atuam. A partir dos currículos dos pesquisadores identificados, é possível obter a lista de suas publicações no Currículo Lattes. Sabe-se que nem todos os periódicos estão indexados em bases de dados, e a coleta de informações através da Plataforma Lattes parece representar de forma mais acurada o que cada pesquisador produz.

De forma sucinta, as etapas metodológicas adotadas foram:

- Seleção de termos de busca
- Busca no DGP usando filtro para Ciências da Saúde
- Identificação das linhas de pesquisa focadas
- Identificação dos pesquisadores envolvidos
- Uso do scriptLattes

- Recuperação da referência bibliográfica de cada artigo
- Filtragem relacionada à nanotecnologia
- Retirada de duplicatas e inconsistências
- Filtragem relacionada a riscos e toxicologia
- Identificação dos principais autores, periódicos e temas

As informações sobre os grupos de pesquisa foram coletadas no Diretório de Grupos de Pesquisa, a partir de um conjunto de termos relacionados à nanotecnologia. Os nanotermos foram selecionados a partir de um conjunto de palavras-chave utilizadas por outros autores em estudos similares⁶⁻⁸. Esse conjunto inicial foi a base para as primeiras buscas, quando foram identificados novos termos, para novas buscas, utilizando-se assim a estratégia bola de neve. Os dados sobre os grupos e suas respectivas linhas de pesquisa foram coletados em planilha Excel.

Para fazer o recorte da área de saúde, foram filtrados os grupos que estavam cadastrados na grande área do CNPq denominada Ciências da Saúde. Cabe salientar que, dada a natureza pervasiva da nanotecnologia, outras áreas devem ser consideradas, sendo este trabalho um ponto de partida para definição da metodologia.

Como nem sempre as linhas de pesquisa estavam relacionadas com a nanotecnologia, foi utilizado um método para identificar as linhas focadas⁹. Segundo esses autores, uma linha de pesquisa é considerada focada quando um termo relacionado à nanotecnologia está presente em pelo menos um dos seus campos: título, objetivo ou palavra-chave da linha de pesquisa.

A partir das linhas de pesquisa focadas, foram identificados os pesquisadores ligados a essas linhas, e a sua produção científica foi coletada através do aplicativo scriptLattes. Foram coletados os artigos publicados no período entre 2000 e 2013 e cadastrados nos Currículos Lattes até 24 de abril de 2013, data da execução do referido aplicativo. O scriptLattes, software livre desenvolvido por Mena-Chalco e Cesar-Jr¹⁰, fornece dados bibliográficos da produção científica de cada pesquisador, baseado nos dados inseridos pelos próprios pesquisadores no Lattes.

Foram selecionados apenas os artigos de periódicos, pois esses são a principal evidência da produção de conhecimento, dada a certificação gerada tanto pela revisão por pares como pelos editores dessas publicações¹¹.

Como a recuperação das referências se deu pelo nome do pesquisador, foi realizada uma filtragem para a seleção daquelas relacionadas à nanotecnologia. O critério utilizado foi que um dos nanotermos estivesse presente no título do artigo. Esse campo, o título, é descrito por Jamali e Nikzad¹² como o principal indicador do tema de qualquer artigo científico, já que a partir dele é que é feito o julgamento de relevância por parte dos autores na busca de literatura pertinente. O fato de os dados serem provenientes do Lattes implica em forte falta de padronização em termos de formato de entrada de nome e ordem dos autores, título do artigo e nome do periódico. Foi necessária uma etapa de checagem e padronização, de forma a eliminar duplicidades e inconsistências, feita com o uso do software de mineração de dados VantagePoint.

A partir do conjunto de artigos relacionados à nanotecnologia foi feita uma nova filtragem, através da identificação de termos no título, para identificar aqueles também relacionados à toxicidade e riscos. Foram utilizados termos em português e em inglês, pois se observou que esses eram os idiomas presentes na amostra: toxic*, ambient*, regulat*, safety*, segurança*, risco*, risk*, sendo o asterisco símbolo de truncamento.

As referências de artigos de nanotecnologia e risco foram analisadas segundo técnicas bibliométricas, identificando-se os principais autores, periódicos, temáticas e redes de coautorias.

Resultados e discussão

A busca no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq foi realizada entre outubro e dezembro de 2012, com 198 diferentes palavras-chave. Destes 198 termos, 128 tiveram recuperação positiva e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Termos de busca com respectivo número de grupos de pesquisa identificados

Termo de busca	Nº de grupos	Termo de busca	Nº de grupos	Termo de busca	Nº de grupos
nanotecnologia	249	nanofármaco	5	nanosonda	2
nanopartícula	246	nanofita	5	nanotermodinâmica	2
nanoeestrutura	161	nanoproduto	5	nanovidro	2
nanocomposito	139	bionanotecnologia	4	quasi-cristais	2
nanomaterial	127	fio quântico	4	bionanosensor	1
nanotubo	116	nanoaplicação	4	nanobactéria	1
nanobiotecnologia	47	nanoargila	4	nanobastão	1
ponto quântico	35	nanocerâmica	4	nanobiologia	1
nanociência	33	nanoenergia	4	nanocavidade	1
nanoparticulado	25	nanohíbrido	4	nanocomplexo	1
nanofibra	22	nanoporoso	4	nanocone	1
nanoestruturada	20	nanoagregado	3	nanointato	1
nanofio	20	nanoambiente	3	nanocromismo	1
nanocápsula	17	nanocelulose	3	nanodisco	1
nanocristal	17	nanodureza	3	nanodisperso	1
nanométrica	17	nanoencapsulamento	3	nanoencapsulado	1
fulereno	15	nanoescala	3	nanoendoambiental	1
nanoesfera	14	nanogel	3	nanofarmacêutico	1
nanoemulsão	13	nanogerações	3	nanoferramenta	1
nanoencapsulação	12	nanomagnetito	3	nanofiltro	1
nanosistema	12	nanometrologia	3	nanogranular	1
nanotoxicologia	11	nanopolímero	3	nanogrão	1
nanoeletrônica	10	nanoporo	3	nanóimã	1
nanofiltração	10	nanoantena	2	nanolipossoma	1
poço quântico	10	nanoarquitetura	2	nanomalha	1
nanolitografia	9	nanobiocomposito	2	nanomanipulação	1
nanofluido	8	nanobiomedicina	2	nanomatriz	1
nanointentação	8	nanocanal	2	nanomolde	1

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados coletados no Diretório de Grupos de Pesquisa em out-dez/2012.

Termo de busca	Nº de grupos	Termo de busca	Nº de grupos	Termo de busca	Nº de grupos
nanoquímica	8	nanocatálise	2	nanoótica	1
dendrímico	7	nanocristalização	2	nanopadrão	1
nanodispositivo	7	nanoeletrodo	2	nanoplaqueta	1
nanofabricação	7	nanoengenharia	2	nanopoluente	1
nanofase	7	nanoforma	2	nanoponte	1
nanofotônica	7	nano-hidroxiapatita	2	nano reator	1
nanomedicina	7	nanolíquido	2	nanorregulação	1
nanosensor	7	nanomedicamento	2	nanoroda	1
optoeletrônica	7	nanomineral	2	nanosatélite	1
nanocatalisador	6	nanoorganizado	2	nanosaúde	1
nanoliga	6	nanopo	2	nanosseguurança	1
nanocarbono	5	nanoprecipitação	2	nanossuspensão	1
nanocarreador	5	nanoradiofármacos	2	nanotoxicidade	1
nanocosmético	5	nanorede	2	nanotribologia	1
nanodiamante	5	nanosílica	2		

Fonte: *Elaboração própria, a partir de dados coletados no Diretório de Grupos de Pesquisa em out-dez/2012.*

Foram recuperados 898 grupos de pesquisa, classificados em oito grandes áreas do CNPq (Tabela 2). Predominam as Ciências Exatas e da Terra, seguido das Engenharias. O conjunto de 85 grupos de pesquisa vinculados à grande área de Ciências da Saúde foi separado para as etapas subsequentes.

Tabela 2 - Número de grupos de pesquisa envolvidos com nanotecnologia e percentual de participação, segundo as grandes áreas do conhecimento do CNPq

Grande área	Nº de grupos	Percentual
Ciências Exatas e da Terra	459	52,3%
Engenharias	222	25,3%
Ciências da Saúde	85	9,7%
Ciências Biológicas	67	7,6%
Ciências Agrárias	35	4,0%
Ciências Humanas	5	0,6%
Ciências Sociais Aplicadas	4	0,5%
Linguística, Letras e Artes	1	0,1%
	878	100,0%

Fonte: *Elaboração própria, a partir de dados coletados no Diretório de Grupos de Pesquisa em out-dez/2012.*

Os 85 grupos de pesquisa relacionados à nanotecnologia e Ciências da Saúde estão organizados em 475 linhas de pesquisa, sendo 145 focadas. Essas linhas de pesquisa são formadas por 419 pesquisadores, cujos Currículos Lattes foram recuperados a partir do scriptLattes.

Foram identificados 10.692 artigos de periódicos no formato bruto (sem retirada de duplicatas e sem padronização).

Em seguida, foi realizada filtragem para seleção dos documentos relacionados à nanotecnologia, reduzindo o universo de artigos brutos para 851 artigos de periódicos. Após a etapa de padronização e remoção dessas duplicatas o arquivo passou a contar com 798 referências de artigos.

Buscando identificar documentos que envolvessem nanotecnologia e riscos à saúde e ao meio ambiente, foi realizada busca nos títulos desses artigos com os termos descritos na metodologia, resultando em 43 títulos.

A leitura desses títulos indicou que um deles não era relativo ao tema deste estudo, constituindo um caso de falsa recuperação. Outro título foi retirado devido a não ser oriundo de um periódico científico e sim de uma publicação em anais de evento. Esses títulos foram excluídos das análises que se seguem, tendo a coleção 41 referências de artigos.

Dos 798 artigos sobre nanotecnologia e saúde inicialmente recuperados, pouco mais de 5% referem-se a temas relacionados com questões de riscos à saúde e ao meio ambiente, mostrando o baixo número de pesquisas nessa área no país.

Os 41 artigos identificados apresentam uma tendência de crescimento, conforme pode ser visto na linha da Figura 2, que mostra o número acumulado de artigos a cada ano.

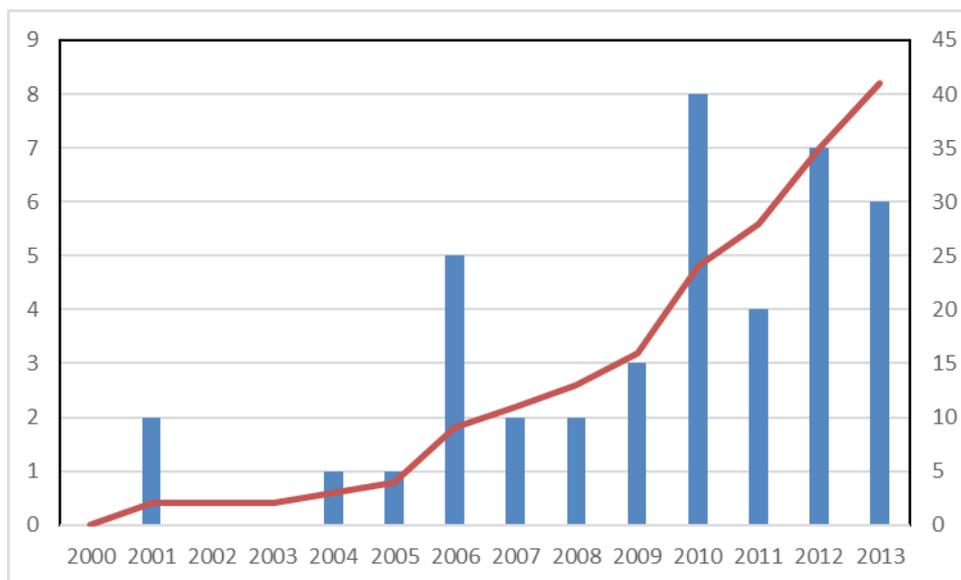


Figura 2 – Evolução histórica dos artigos em nanotecnologia e riscos no Brasil
 Fonte: Elaboração própria, baseada em dados da Plataforma Lattes.

A análise de conteúdo dos 41 títulos mostra que mais de 75% deles tratam de toxicidade conforme pode ser observado na Tabela 3. Ao se detalhar que tipo de toxicidade está sendo estudada, observa-se que mais de 50% dos artigos envolvem citotoxicidade.

Tabela 3 - Distribuição dos temas dos artigos em nanotecnologia e riscos

Tema	Subtema		
regulamentação		4	
ambiental		2	
riscos		2	
sociedade e meio ambiente		1	
segurança		1	
toxicidade	31		
		citotoxicidade	17
		toxicidade não especificada	6
		fitotoxicidade	3
		photocitotoxicidade	2
		toxicidade de alimentos	1
		cardiotoxicidade	1
		hepatotoxicidade	1
Total de artigos		41	

Fonte: Elaboração própria, baseada em dados da Plataforma Lattes.

Os artigos sobre temas relacionados à nanotecnologia e riscos à saúde e ao meio ambiente são recentes. A Figura 3 ilustra a frequência de temas ao longo do tempo. Somente a partir de 2009 surgem artigos sobre temas não estritamente relacionados à toxicidade.

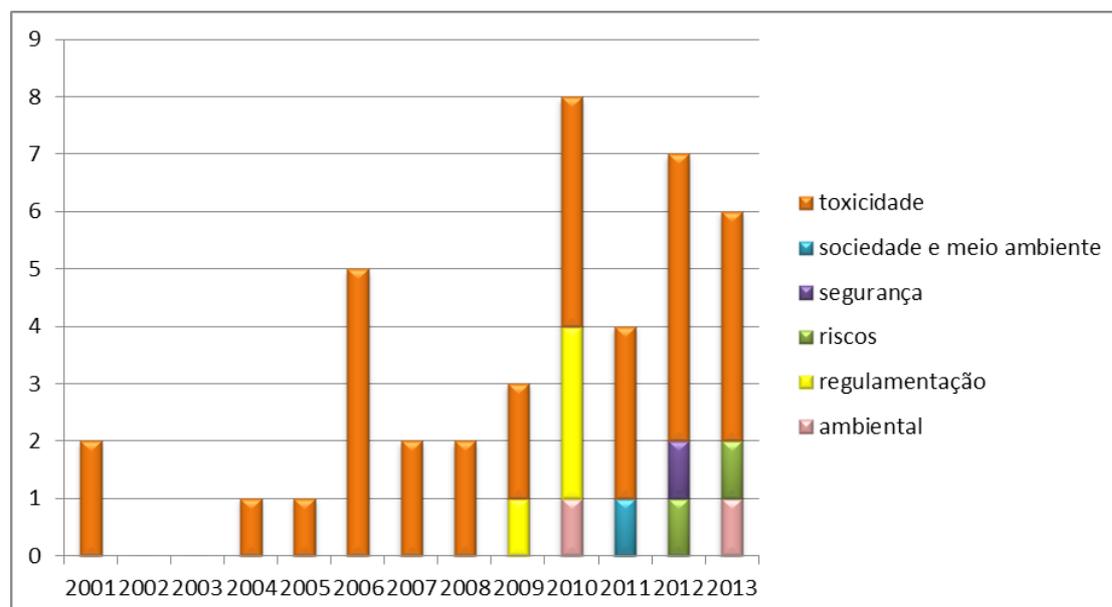


Figura 3 – Distribuição dos temas ao longo do tempo

Fonte: Elaboração própria, baseada em dados da Plataforma Lattes

Os 41 artigos foram publicados em 35 diferentes periódicos, indicando que não há uma fonte que concentre as publicações nessa área; somente cinco periódicos têm mais de um artigo sobre o tema em foco. A Tabela 4 apresenta os títulos dos periódicos, sendo dez deles redigidos no idioma português.

Tabela 4 – Periódicos dos artigos em nanotecnologia e riscos no Brasil

Periódico	Nº artigos
<i>Journal of Nanoscience and Nanotechnology</i>	3
<i>European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics</i>	2
<i>International Journal of nanomedicine</i>	2
<i>Journal of Applied Physics</i>	2
Química Nova	2
Acta Farmaceutica Bonaerense	1
Biofar: Revista de Biologia e Farmácia	1
Cadernos IHU ideias	1
<i>Die Pharmazie</i>	1
<i>European Journal of Pharmacology</i>	1
Faz Ciência	1
<i>IEEE Transactions on Magnetism</i>	1
<i>Journal of Apicultural Research</i>	1
<i>Journal of Biomedical Nanotechnology</i>	1
<i>Journal of Drug Delivery Science and Technology</i>	1
<i>Journal of Magnetism and Magnetic Materials</i>	1
<i>Journal of Microencapsulation</i>	1
<i>Journal of Nanoparticle Research</i>	1
<i>Journal of Physical - Conference Series</i>	1
<i>Key Engineering Materials</i>	1
<i>Life Sciences</i>	1
<i>Macromolecular Symposia</i>	1
<i>Material Science Engineering C, Biomimetic Materials, Sensors and Systems</i>	1
<i>Nanotechnology (Bristol)</i>	1
<i>New Trends In Polymers For Oral And Parenteral Administration From Design To Receptors</i>	1
Pensamento plural	1
Pensar	1
<i>Pharmaceutical Research</i>	1
<i>Polymer Degradation and Stability</i>	1
Revista Brasileira de Farmacognosia	1
Revista de Direito Ambiental	1
Revista Uniandrade	1
Revista Visão Jurídica	1
<i>STP Pharma Sciences</i>	1
<i>Toxicological Sciences</i>	1

Fonte: Elaboração própria, baseada em dados da Plataforma Lattes.

Os 41 artigos foram escritos por 168 coautores, com uma média de aproximadamente seis autores por artigo. Observa-se também que os artigos com três ou menos autores concentram-se na área de regulamentação e nas questões ambientais; enquanto o tema toxicidade costuma ter um número mais elevado de participantes, chegando a ter até 11 autores.

Outra consideração a ser feita é que, ao analisar os 419 pesquisadores participantes das linhas de pesquisa em nanotecnologia e Ciências da Saúde, fonte de coleta da produção científica, verificou-se que somente 34 deles, ou seja, cerca de 8%, publicaram artigos sobre temas relacionados aos riscos da nanotecnologia. Isso reflete uma baixa dedicação à análise desse problema. Essa questão é discutida também por Paschoalino, Marcone e Jardim⁴, que afirmam haver uma desproporcionalidade entre o número de trabalhos científicos publicados sobre nanotecnologia e aqueles específicos sobre nanotoxicidade.

Uma análise dos 168 coautores dos 41 artigos identificados mostra que 36 autores têm mais de um artigo sobre o tema. Esses autores, mais produtivos, são apresentados no mapa de correlação baseado em coautorias, apresentado na Figura 3.

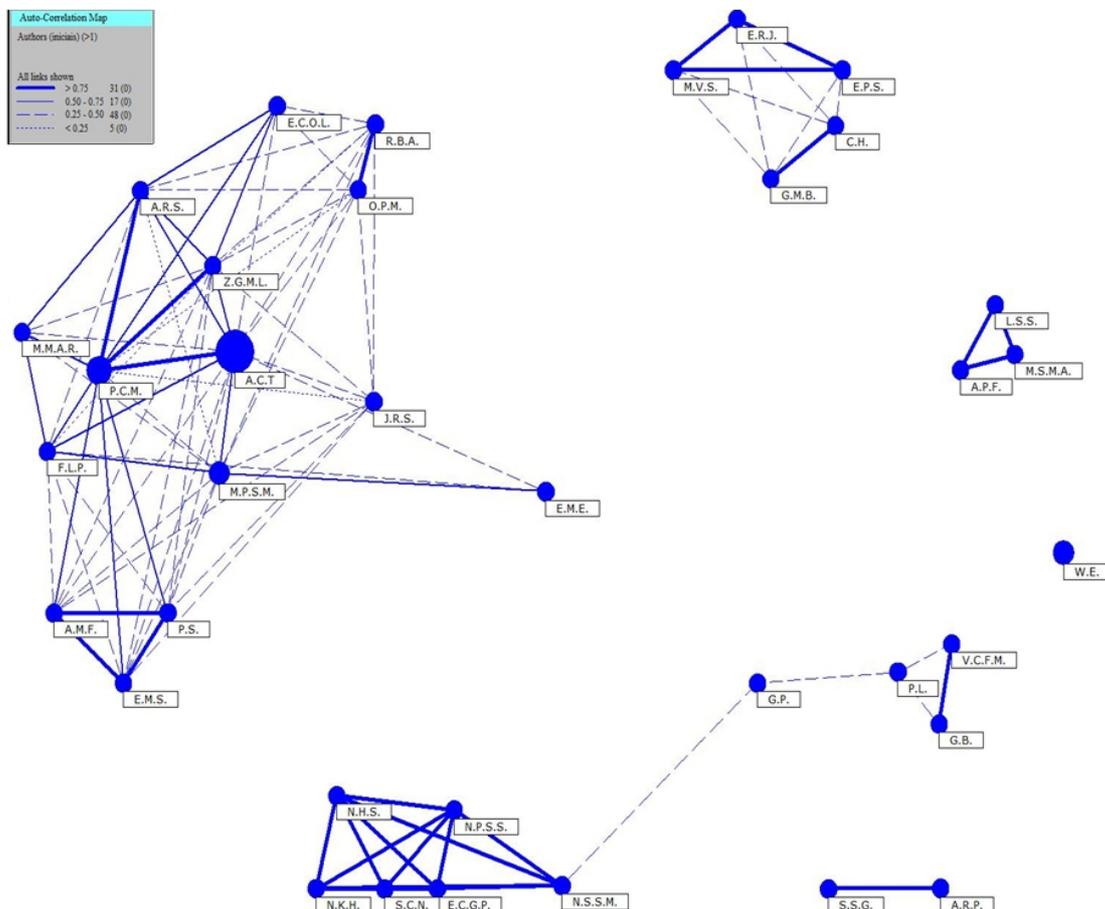


Figura 3 – Mapa de coautorias dos autores mais produtivos em nanotecnologia e riscos no Brasil
Fonte: Elaboração própria, baseada em dados da Plataforma Lattes.

Foram identificados seis *clusters* de coautoria. O primeiro e maior *cluster* é composto por 16 autores de dez diferentes instituições, sendo oito brasileiras, com representação de todas as regiões do país, e duas estrangeiras, mostrando uma importante colaboração na área de foto e citotoxicidade.

O *cluster 2* é composto por cinco membros, todos da mesma instituição, Universidade Federal do Rio de Janeiro, com foco temático também em foto e citotoxicidade.

O cluster 3 é formado por três membros, dos quais dois fazem parte da Fundação Oswaldo Cruz e o terceiro está lotado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. O tema é bem caracterizado como riscos da nanotecnologia.

O único *cluster* que apresenta coautorias internacionais é o 4, composto por um pesquisador brasileiro, da Universidade Federal de Ouro Preto e três da Université de Paris–Sud, cujas publicações versam sobre cardio e citotoxicidade.

No *cluster* 5, os coautores são vinculados a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e também trabalham com citotoxicidade.

A Universidade Federal de Pernambuco conta com cinco pesquisadores no *cluster* 6, que têm também um coautor da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Esse *cluster* é focado em hepatotoxicidade.

O único autor que não aparece em nenhum *cluster* é da Universidade do Vale do Rio dos Sinos e tem seu foco de pesquisa em regulamentação e em toxicidade de alimentos.

Considerações finais

É importante observar que a metodologia adotada circunscreveu-se aos grupos de pesquisa da área de Ciências da Saúde. No entanto, dada a pervasividade da nanotecnologia, seria interessante a ampliação do *corpus* de pesquisa para outras áreas do conhecimento.

Os resultados encontrados mostram que a pesquisa em nanotecnologia e riscos no Brasil ainda é incipiente. Por outro lado, embora haja uma esperada concentração na região Sudeste, autores de todas as regiões do país estão presentes nos artigos localizados. Os *clusters* identificados mostram uma diversidade de conformações: alguns são internacionais, outros são locais, têm tamanho variado e o tema é ora restrito, ora amplo.

A complexidade da nanotoxicologia mostra-se refletida no número médio de autores por artigo. Por outro lado, os temas mais reflexivos, voltados para a regulação, a sociedade e o meio ambiente, apresentam-se com reduzido número de coautores, sendo os únicos a apresentar artigos de um só autor.

A produção científica nacional encontra-se pulverizada em diversos periódicos. Os temas de interesse local, como discussões sobre marcos regulatórios, segurança, sociedade e meio ambiente estão publicados em periódicos redigidos em português. Ao passo que os artigos, em inglês, identificados se ocupam dos diversos aspectos da toxicidade.

É interessante observar o surgimento de temáticas não relacionadas exclusivamente à toxicidade nos últimos anos, o que pode representar um desejável indicador de que há um crescente interesse por questões regulatórias e sociais no país.

Referências

1. Roco, M. C. Progress in Governance of Converging Technologies Integrated from the Nanoscale. *Annals of the New York Academy of Science*. 2006; 1093:1–23. doi: 10.1196/annals.1382.002
2. Roco MC. Possibilities for global governance of converging technologies. *J Nanopart Res* 2008; 10 (1) : 11-29. doi: 10.1007/s11051-007-9269-8.
3. DNA Nanotechnology: 3 Companies Building Better Synthetic Vaccines. *Seeking Alpha* [Internet] 2012 Set [cited 2012 Dec 11]; Available from: <http://seekingalpha.com/article/853551-dna-nanotechnology-3-companiesbuilding-better-synthetic-vaccines>.

4. Paschoalino MP, Marcone GPS, Jardim, WF. Os nanomateriais e a questão ambiental. *Quím. Nova.* 2010; 33 (9) :421-430.
5. Roco MC. Environmentally Responsible Development of Nanotechnology. *Environ Sci Technol* 2005; 39(5) :106A-112A. doi: 10.1021/es053199u
6. Alencar MSM, Porter AL, Antunes AMS. Nanopatenting patterns in relation to product life cycle. *Technol Forecast Soc Change* 2007; 74 :1661.
7. Milanez DH. Nanotecnologia: indicadores tecnológicos sobre os avanços em materiais a partir da análise de documentos de patentes [dissertação]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2011.
8. Porter AL, Youtie J, Shapira P, Schoeneck DJ. Refining search terms for nanotechnology. *J Nanopart Res.* 2008; 10 :715-728.
9. Alencar MSM, Bochner R, Dias MFF. Nanotecnologia em Ciências da Saúde no Brasil: um olhar informétrico com base nos grupos de pesquisa. *Liinc em Revista* 2013; 9 (1) :47-65.
10. Mena-Chalco JP, Cesar-Jr RM. scriptLattes: An open-source knowledge extraction system from the lattes platform. *Journal of the Brazilian Computer Society* 2009; 15 (4) :31-39.
11. Ziman, JM. *Conhecimento público*. Itatiaia; Belo Horizonte: ed. Itatiaia; São Paulo, ed. da USP; 1979.
12. Jamali HR, Nikzad M. Article title type and its relation with the number of downloads and citations. *Scientometrics* 2011; 88 (2) :653-661.