

# INDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTAIS DAS NANOTECNOLOGIAS

VINICIUS **PANEBIANCHI**<sup>1</sup> DOS SANTOS; KATIA REGINA EVARISTO DE **JESUS-HITZSCHKY**<sup>2</sup>

Nº 0902014

## Resumo

O foco da nanotecnologia são estruturas na escala de 1 a 100 nm e seu papel fundamental é o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias, úteis para o armazenamento de energia, tratamento de água, remediação, farmacologia, diagnóstico de doenças, cosméticos, entre outros. Apesar de suas vantagens, a nanotecnologia oferece riscos ambientais de grande importância, uma vez que esses novos materiais são desenvolvidos em laboratórios e não estão disponíveis na natureza, o que gera dúvidas sobre seus efeitos. Para diagnosticar as consequências dessas tecnologias no meio ambiente, foram levantados, por meio da consulta à literatura especializada, indicadores de impactos ambientais das Nanotecnologias. Alguns dos indicadores estão relacionados no presente trabalho e fornecem informações organizadas para promover o seu uso sustentável e permitir uma melhor qualidade de vida da população .

## Abstract

The focus of Nanotechnology are structures at the scale from 1 to 100 nm and its main goal is to develop new materials and technologies useful for energy storage, water treatment, remediation, pharmacology, diseases diagnoses, cosmetics, and others. Despite its advantages, nanotechnology poses significant environmental risks, once these new materials are developed in laboratories and therefore not available in nature, which offers doubts about its effects. To diagnose the consequences of the technology on the environment, impact indicators were collected from scientific literature. Some indicators are related on this present work and provide organized information on how to

---

<sup>1</sup> Estagiário da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna – SP; Graduação em Engenharia Ambiental, PUC–CAMPINAS, ✉ panebianchi@cnpma.embrapa.br

<sup>2</sup> Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna – SP, ✉ katiareg@cnpma.embrapa.br

protect the environment from the technology so to guarantee its sustainable usage and allow a superior life quality to the population.

## **Introdução**

Corbetti e colaboradores (2002) afirmam que a escala utilizada pela nanotecnologia, o nanômetro, representa uma unidade 80.000 vezes menor que o diâmetro de fio de cabelo. O microscópio de força atômica é um instrumento essencial para o desenvolvimento do trabalho na escala nanométrica.

As nanopartículas (NPs) possuem interessantes propriedades mecânicas, elétricas, ópticas, térmicas e magnéticas (JU-NAM; LEAD, 2008). A nanotecnologia é, portanto, um campo que cresce rapidamente, focado na criação de materiais funcionais, aparelhos e sistemas controlados na escala nanométrica (MNYUSIWALLA, 2003). Essa área despertou um grande interesse da comunidade científica e industrial recentemente, focado na criação de materiais, aparelhos e sistemas controlados na escala nanométrica. Um relatório feito pela Lux Research em 2004 aponta que o valor estimado total das nanotecnologias extrapolará os \$2,5 trilhões de dólares para o ano de 2014 (KHANNA et al., 2008). O caráter inovador dessa tecnologia causa uma apreensão natural e forte resistência social, assim como a energia nuclear e os organismos geneticamente modificados (OGM's) sofreram e ainda sofrem. Todos os novos materiais industriais geram novas preocupações ao público quanto à segurança ou não da liberação da tecnologia no ambiente (CLIFT; LLOYD, 2008). Visto que as nanopartículas são desenvolvidas em laboratório e, portanto, não disponíveis na natureza, a avaliação de impacto e mapeamento do ciclo de vida devem ser aspectos importantes intimamente ligados ao desenvolvimento da Nanotecnologia.

Há vários tipos de nanopartículas, formadas por diferentes compostos. O mais comum é o formado por carbono, chamados de fulerenos. Ju-Nan e Lead (2008) mostram as características dos dois tipos mais comuns de fulerenos: *Buckyballs* (1); e os nanotubos de carbono (2). *Buckyballs* são estruturas esféricas e ocas que possuem a interessante característica de serem extremamente tóxicas a bactérias, peixes e invertebrados. São perigosas por não serem solúveis em água. Os nanotubos de carbono são amplamente investigados devido às suas propriedades mecânica, térmica, fotoquímica e elétrica, muito úteis no ramo industrial. São estruturas extremamente flexíveis e a fibra sintética mais resistente já elaborada. Nanotubos são

capazes de conduzir duas vezes mais eletricidade que o cobre e será utilizado para aprimorar tecnologias de baterias recarregáveis e produção de células de combustíveis, além de demonstrarem características de semicondutores (JU-NAN; LEAD, 2008).

Com o intuito de avaliar o comportamento das nanotecnologias no ambiente, foi realizada a prospecção dos indicadores de impacto ambiental. Os indicadores são utilizados há muito tempo como uma ferramenta que permite o levantamento de informações sobre questões das mais variadas, tais como saúde, clima e assuntos econômicos. Indicadores de desenvolvimento ambiental e de sustentabilidade dão suporte às políticas públicas, desenvolvimento de novos métodos de avaliação de impacto capazes de monitorar a eficácia das novas políticas adotadas ou ainda medir a eficácia de todas as ações. Um indicador confiável deve ser simples, representativo, estável, rastreável e com boa disponibilidade de informação (BOSSEL, 2001). Como um método de avaliação de impacto indicadores ambientais podem ajudar a indicar os possíveis impactos da Nanotecnologia, pois, oferecem informações relacionadas à previsão dos seus impactos e auxiliam na tomada de decisões no sentido de minimizar os impactos negativos para o meio ambiente.

## **Metodologia**

A definição dos indicadores de impactos das nanotecnologias foi feita com base no levantamento do estado da arte. Foram levantadas as informações sobre as características das nanotecnologias, aplicações e limitações da tecnologia, cenário atual em relação às pesquisas e desenvolvimento, legislações vigentes no mundo nesta temática e os indicadores de impactos ambientais já apontados pelos especialistas na literatura. O levantamento dos indicadores de impactos das nanotecnologias foi através da consulta aos documentos e/ ou relatórios de painéis de especialistas e de Agências Internacionais, como U.S. EPA, UNESCO e THE ROYAL SOCIETY – U.K. (U.S. EPA, 2007; UNESCO, 2006; THE ROYAL SOCIETY – U.K. , 2004).

## **Resultados e Discussão**

A análise da literatura especializada nos permitiram identificar os indicadores dos impactos ambientais sinalizados como mais preocupantes no cenário atual. Como estas informações não encontram-se organizadas na literatura internacional e nem nacional, este trabalho trará contribuições nos estudos sobre os efeitos das nanotecnologias. Abaixo são apresentados os indicadores e também a justificativa para sua análise nas avaliações de impactos ambientais seguem abaixo.

<b>TABELA 1. Indicadores de Impactos sobre a flora e fauna</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>REFERÊNCIA</b>
Alterações nos fatores de coagulação sanguínea	A capacidade das nanopartículas em causar inflamações, além do fato de partículas poluentes do ar causarem alterações em fatores de coagulação no sangue, podem facilmente chegar ao interstício e penetrar no sangue.	SWEDISH CHEMICALS AGENCY REPORT, 2008
Inibição da proliferação de células dos rins	Os nanotubos de parede única mostraram inibir a proliferação de células dos rins em culturas de células ao induzir a apoptose celular e diminuição da capacidade adesiva celular.	OBERDÖRSTER et al, 2005
Inibição do crescimento de raízes em plantas	A mudança das características da superfície em nanopartículas de alumina através da interação com o grupo do radical hidroxilo (HO) livre na superfície da partícula alteram o efeito dessas partículas no crescimento de raízes em plantas. Essas mudanças nas características da superfície das nanopartículas de alumina são importantes para a fitotoxicidade das partículas.	YANG; WATTS, 2005
Danos ao DNA e aberrações cromossômicas*	Outras nanopartículas como metais e óxidos metálicos (Cu, Co, TiO <sub>2</sub> e SiO <sub>2</sub> ) mostraram ter efeitos inflamatórios e tóxicos em células e nanopartículas de TiO <sub>2</sub> mostraram induzir dano ao DNA e aberrações cromossômicas.	GUZMAN et al, 2006
Propriedades Antibacterianas	Estudos demonstraram agregação de NPs de Prata e maiores efeitos em bactérias em placas de <i>petri</i> .	PAL et al., 2007

## Conclusões

Os indicadores dispostos acima evidenciam os riscos potenciais da liberação dos nanomateriais e da nanotecnologia no meio ambiente. Apesar de suas aplicações mostrarem-se muito importantes para o futuro tecnológico, são necessárias precauções para mitigar efeitos adversos da nova tecnologia no meio ambiente, tais como: mapeamento das NPs para evitar disposição das mesmas no ambiente com desconhecimento da população do entorno. Isso ocorre, por exemplo, com as NPs presentes em protetores solares, geralmente de Zinco, que tornam-se resíduos do esgoto urbano (OBERDÖRSTER et al, 2005).

Por outro lado, algumas aplicações das nanotecnologias abrem as possibilidades de empregos biotecnológicos, como apontado pelo indicador que ressalta as propriedades antibacterianas.

## Referências

- BOSSEL, H. Assessing viability and sustainability: a systems-based approach for deriving comprehensive indicator sets. **Conservation ecology** 5(2): 12. 2001.
- CLIFT, R.; LLOYD, S. Nanotechnology, A New Organism in the Industrial Organism? **Journal of industrial ecology**. p. 259 – 262, 2008.
- CORBETT, J.; MCKEOWN, P.A.; PEGGS, G.N.; WHATMORE, R. **Nanotechnology: international developments and emerging products**. v. 49, n. 2, p. 523- 545, 2002.
- GUZMAN K. A. D., TAYLOR M. R., BANFIELD J. **Environmental risks of nanotechnology**: national nanotechnology Initiative funding, 2000-2004. *Environmental Science & Technology*, v. 40, n. 5, p. 1401-1407, 2006.
- JU-NAM, Y.; LEAD, J. R. **Manufactured nanoparticles**: An overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications. *Science Total Environment*, 2008.
- KHANNA, V.; BAKSHI, B. R.; LEE, L. J. Carbon Nanofiber Production: Life Cycle Energy Consumption and Environmental Impact. v. 12, n. 3. **Journal of industrial ecology**. p. 394 – 410, 2008.

MNYUSIWALLA, A.; DAAR, A. S.; SINGER, P.A. **'Mind the gap': science and ethics in Nanotechnology.** Institute of Physics Publishing. 2003.

OBERDÖRSTER G.; OBERDÖRSTER E.; OBERDÖRSTER J. **Nanotoxicology:** An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. Environmental health perspectives. v. 113, n. 7, 2005.

PAL S.; TAK Y. K.; SONG J. M. **Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium Escherichia coli.** Applied and Environmental Microbiology; v. 73, p. 1712–20, 2007

SWEDISH CHEMICALS AGENCY REPORT. **Nanotechnology – high risks with small particles?** 2008.

THE ROYAL SOCIETY – U.K. **Nanoscience and nanotechnologies:** opportunities and uncertainties. The Royal Society & The Royal Academy of Engineering. United Kingdom, 2004. Disponível em: <<http://www.nanotec.org.uk>>. Acesso em: 1 jul. 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Nanotechnology white paper.** EPA 100/B-07/001. 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC, AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **The Ethics and politics of nanotechnology,** 2006. Disponível em: <<http://www.unesco.org>>. Acesso em: 1 jul. 2009.

YANG, L.; WATTS, D.J. **Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles,** Toxicology Letters. p.122–132, 2005.