



## **NANOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA: PROSPECÇÃO DOS INDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS**

LEONARDO DA S. **GRANZIERA**<sup>1</sup>; ODÍLIO B. G. **ASSIS**<sup>2</sup>; CATIANA R.

**BRUMATTI**<sup>3</sup>; KATIA R. E. DE **JESUS**<sup>4</sup>

**Nº 12408**

### **RESUMO**

A Nanotecnologia está baseada na crescente capacidade da tecnologia moderna de manipular átomos e partículas em nanoescala, com aplicações em diversas áreas de atuação, desde a medicina, meio ambiente e agricultura. Apesar das nanotecnologias apresentarem propriedades físicas específicas, a avaliação dos impactos associados ao seu emprego e liberação no meio ambiente ainda não é uma prática corrente. Neste cenário, o presente trabalho propõe um estudo de caso sobre as nanopartículas na agricultura, através da formulação de indicadores de impacto a partir de levantamento da literatura científica.

### **ABSTRACT**

Nanotechnology is based on increasing capacity of modern technology to manipulate nanoscale particles and atoms, with applications in various areas, from medicine, environment and agriculture. Although nanotechnologies have specific physical properties, evaluation of impacts associated with their use and release into the environment is still not a common practice. In this scenario, the present work proposes a case study about nanoparticles in agriculture, through the survey of impact indicators of scientific literature.

---

<sup>1</sup> Bolsista CNPq: Graduando em Eng. Ambiental, FAJ / Estagiário e Bolsita PIBIC na Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna- SP, leonardogranziera@gmail.com

<sup>2</sup> Pesquisador - Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP. Brasil. Rua XV de Novembro, 1452 – CP. 741 CEP: 13560-970 – Telefone: 55 (16) 2107-2800 odilio@cnpdia.embrapa.br

<sup>3</sup> Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da UFSCAR / Embrapa Meio Ambiente

<sup>4</sup> Orientadora: Pesquisadora - Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Brasil. Rodovia SP 340 km 127,5 CP 69 CEP 13820 -000 Telefone: 55 (19) 3311-2641; Fax: 55 (19) 3311-2640 katiareg@cnpma.embrapa.br



## INTRODUÇÃO

Segundo Allhoff et al (2008), o rápido desenvolvimento da nanotecnologia movimenta anualmente uma indústria multibilionária, graças a sua gama de aplicações. Em geral ela vem sendo empregada para economia de energia, recuperação do meio ambiente, menor uso de matérias primas, e na saúde humana, associada à liberação controlada de drogas no organismo. Existe também a aplicação na área alimentar, como o desenvolvimento de filmes nano e microestruturados comestíveis para revestimentos de frutas e legumes minimamente processados ou in natura.

Com essa nova tecnologia surgiram questões sobre a segurança ocupacional do consumidor e do meio ambiente. Alguns cientistas sociais têm questionado se nanomateriais que apresentam propriedades físicas diferentes do seu correspondente convencional, podem também apresentar riscos para a saúde humana durante a sua manufatura, uso e destinação final (BELL, 2006).

Dentre os possíveis problemas associados à nanotecnologia podemos citar a nanopoluição gerada por nanomateriais. Estes impactos potenciais só poderão ser dimensionados de forma clara através de uma Avaliação dos Impactos das Nanotecnologias.

A Avaliação dos Impactos das novas tecnologias é uma medida mitigatória eficaz para enfrentar os desafios cada vez maiores da degradação do meio ambiente, dos riscos alimentares, sociais e econômicos. Para tanto, métodos científicos devem ser utilizados na construção de cenários que possibilitem avaliar o alcance dos efeitos ambientais e impactos em geral. Deste modo, os indicadores formulados neste trabalho preenchem uma etapa significativa de uma Avaliação de Impactos, que antes de ser uma tentativa de estimar matematicamente as probabilidades de um evento e a magnitude de suas consequências, implica o juízo de valor da tomada decisões (SÁNCHEZ, 2006).

A nanotecnologia estende a ciência de materiais para o domínio de partículas e interfaces com dimensões extremamente pequenas, da ordem de um a cem nanômetros. Partículas deste tamanho, ou (nanopartículas), apresentam uma grande área superficial e, freqüentemente, exibem propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas ou químicas distintas de partículas e superfícies macroscópicas (QUINA, 2004).



Já segundo Riboldi (2009), a nanotecnologia se fundamenta no desenvolvimento de técnicas e de ferramentas adequadas para posicionar átomos e moléculas em locais previamente estabelecidos, de maneira a obter estruturas e materiais de interesse. Para tanto, estão sendo constantemente desenvolvidos instrumentos adequados para trabalhar nessa escala microscópica.

### **Nanotecnologia e Saúde**

Esta nova tecnologia também está colaborando muito com o desenvolvimento de pesquisas ligadas a área da saúde e da medicina. Os cientistas já almejam a construção de nano robôs que viajam através da nossa corrente sanguínea levando medicamentos a áreas específicas do corpo ou até mesmo trabalhando na reparação de tecidos danificados por lesões ou problemas crônicos de nosso organismo (RIBOLDI, 2009).

### **Nanopartículas e Risco à Saúde**

Apesar de esta nova ciência trazer tantos benefícios, um novo estudo também revela que nanopartículas estão sendo usadas em tudo, de cerveja a bebidas para bebês, sem se saber ao certo sobre os danos que podem nos causar. Plástico permeado com nanopartículas ajuda a tornar as garrafas de cerveja da Miller Brewing Co. menos propensas a quebrar, ao mesmo tempo em que amplia o período de durabilidade da cerveja na fase de armazenamento.

De acordo com Riboldi (2009), existe uma ampla variedade de itens de cozinha e limpeza agora que empregam partículas de prata de tamanho nano para matar micróbios. No entanto, o grupo ambiental Friends of Earth (FOE) [em português Amigos da Terra] sediado em Washington, relata que nenhum dos mais de 100 produtos de comida ou relacionados à comida em que eles identificaram a presença de nanopartículas – partículas minúsculas entre 100 e um nanômetros – tem um aviso no rótulo ou passou por algum tipo de teste de segurança realizado por agências governamentais, isso mostra que muitos produtos foram criados com o uso de nanotecnologia e inseridos na cadeia alimentar humana sem muitas restrições.

### **Nanopoliuição**

A produção ou o desenvolvimento de nanomateriais gera nanopartículas que podem ser potencialmente perigosas para o ser humano e para o meio ambiente, uma vez que flutuam facilmente e podem se deslocar por grandes distâncias. Além disso,



devido às suas diminutas dimensões, as nanopartículas podem penetrar em células dos seres vivos. E, pelo fato das células não ter mecanismos apropriados para combatê-las, vir a se acumular na cadeia alimentar tal como ocorre com os metais pesados (RIBOLDI, 2009).

### **Nanotecnologia na Agricultura**

Entre as inúmeras possibilidades de aplicações das nanotecnologias no meio rural está a incorporação de nanosensores e nanocatalisadores capazes de monitorar e acelerar o diagnóstico de doenças nas plantas, o tratamento molecular de doenças, o melhoramento da habilidade das plantas para absorver os nutrientes, a eficiência na aplicação dos pesticidas, herbicidas e fertilizantes. Trata-se de ampliar para escala nano (um nm possui um bilionésimo de metro) os ganhos alcançados em anos recentes com a agricultura de precisão, a qual consegue prever, por exemplo, as condições do solo, o desenvolvimento e a germinação das plantas, além de auxiliar no uso mais racional de água.

De acordo com Ramos et al (2009), a união da biotecnologia com a nanotecnologia em sensores criará um dispositivo de sensibilidade maior permitindo uma resposta mais rápida às alterações ambientais. Esses dispositivos viabilizarão cada vez mais uma agricultura científica. As nanotecnologias dispõem também de um enorme potencial para revolucionar os sistemas alimentares. Estudos advertem para a possibilidade das tecnologias em escala nano ajudarem na detecção de patógenos contaminantes através dos nanosensores bioanalíticos, e na identificação da origem e rastreabilidade dos produtos agrícolas e animais.

Grande parte das experiências brasileiras a tratarem das nanotecnologias no agronegócio tem origem nas pesquisas realizadas pela Embrapa. Esta, ao lado dos projetos de investigação científica, inaugurou no ano de 2006 o Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio na cidade de São Carlos, São Paulo. Um dos produtos de base nanotecnológica desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária foi a língua eletrônica que facilita a análise de características físico-químicas e organolépticas como sabor e aroma de alimentos e bebidas (EMBRAPA, 2007).



## **MATERIAL E MÉTODOS**

A identificação de indicadores de impacto potencial das nanotecnologias foi baseada em um levantamento da literatura especializada, onde o foco foi reunir as informações mais relevantes úteis ao público em geral e aos cientistas e tomadores de decisão da esfera pública. Foram selecionados alguns indicadores de impacto potencial das nanotecnologias aplicadas à agricultura com foco nos efeitos para o meio ambiente. Segundo Linster (2003), os indicadores possuem duas funções principais: 1. Reduzir o número de mensurações e parâmetros para dar um parecer sobre a situação e; 2. Simplificar o processo de comunicação. Como um indicador é, muitas vezes, utilizado para atingir objetivos diversos, é necessário definir um critério geral para selecionar indicadores e validar sua escolha dentro de uma Avaliação de Impactos. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 1993) estabelece os critérios para selecionar indicadores de impacto quanto à relevância política e utilidade para usuários e sua mensurabilidade. Os indicadores devem: i) permitir a análise do cenário representativo no qual será introduzida a tecnologia, ii) ser simples, iii) fácil de interpretar, e iv) capaz de mostrar tendências ao longo do tempo. Também deve promover uma base para comparações internacionais e ser de âmbito nacional. Já a mensurabilidade está relacionada com a disponibilidade de quantificação/ponderação do risco relacionado ao indicador, bem como estar baseado em normas e padrões pré-determinados por organizações. Esses critérios foram utilizados neste trabalho para identificar e justificar os indicadores pertinentes ao caso das nanotecnologias.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A seguir, é apresentada uma compilação dos resultados de fase inicial de uma Avaliação de Impactos, ou seja, o levantamento dos indicadores, a partir da consulta à literatura especializada. O levantamento dos indicadores deste trabalho foi realizado através de uma análise criteriosa da literatura científica das dimensões (ou grupos) envolvidas, relatórios governamentais e institucionais. Os grupos foram escolhidos segundo a representatividade que cada um possui dentro da estruturação da sociedade atual, bem como sua importância no equilíbrio da mesma. As informações obtidas foram organizadas para uma futura ponderação dos dados para estes serem utilizados na Avaliação de Impactos das Nanotecnologias.



**TABELA 1.** Compilação dos Indicadores de Impactos analisados neste trabalho

<b>DIMENSÕES</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>Ambiental e Saúde</b>	<b>Monitoramento da destinação de resíduos provenientes de laboratórios e/ou indústrias de nanocompósitos, visando à qualidade ambiental (solo, água, flora, microbiota e fauna)</b>
	Validação dos testes <i>in vitro</i> contra modelos <i>in vivo</i> em diversos cenários de exposição à nanocompósitos
	<b>Avaliação do ciclo de vida do produto nanorelacionado</b>
	Informação específica sobre possíveis rotas de exposição de produtos que contenham nanotecnologias através da Relação Quantitativa de Estrutura-Atividade ( <i>Quantitative Activity Relationships</i> – QSARs) divulgada e definida
	<b>Avaliação de segurança para agrotóxicos em nanoescala</b>
	Exposição de organismos não-alvo da biota do solo ou da água onde foram aplicados os agroquímicos em nanoescala
<b>Social</b>	<b>Modificação nos processos e nas dinâmicas dos sistemas ecológicos por estresse ambiental devido à presença de nanopartículas</b>
	Inibição da germinação da semente devido à fitotoxicidade das nanopartículas
	<b>Inibição do crescimento da raiz devido à fitotoxicidade das nanopartículas</b>
	Ações específicas de comunicação em nanociências
	<b>Taxa de Emprego/Desemprego em matrizes operacionais relacionadas às nanotecnologias</b>
Aplicação de propriedades inovadoras para uso militar (relacionadas à nanomateriais)	
	<b>Taxa de Sindicalização e associativismo na área de nanotecnologia</b>



Estes dados foram empregados na metodologia GMP-RAM, com adaptações para avaliação da nanotecnologia. Originalmente essa metodologia é empregada para avaliação dos riscos de plantas geneticamente modificadas (BUENO; JESUS, 2011).

## CONCLUSÃO

O levantamento de indicadores de impacto nos mais diversos grupos de análise é de extrema importância para o entendimento holístico de uma situação de risco. Através dos indicadores estabelecidos neste trabalho foi possível levantar os impactos potenciais das nanotecnologias, bem como fundamentar critérios e dados específicos para avaliação e quantificação do impacto potencial associado à liberação dessa tecnologia pela sociedade. Esses indicadores também serviram como guias para o aprofundamento em estudos de impacto a fim de promover a inovação, competitividade, segurança e sustentabilidade das nanotecnologias.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ – PIBIC, pela bolsa concedida, CNPq, Embrapa Meio Ambiente e a Rede AgroNano.

## REFERÊNCIAS

ALLHOFF, F.; P. Lin; MOOR, J.; WECHERT, J.; *Nanoethics: The Ethical and Social Implications of Nanotechnology*. apud P.R. Buseck; K. Adachi in *Nanoparticles in the Atmosphere*. Elements, Arizona, 2008; Vol. 4, 389–394.

BELL, T. E.; **Reporting Risk Assessment of Nanotechnology: A Reporter's Guide to Sources and Research Issues**. *N. Nan. Init.* 2006, 8.

BRIGGS, D. **Making a difference: indicators to improve children's environmental health**. Geneva: World Health Organization, 2003. 13 p. Disponível em: <<http://www.who.int/phe/children/en/cehindicum.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2012.

BUENO, C. C.; JESUS, K. R. E. **Emprego e Adaptação do Método GMP-RAM para Avaliação dos Riscos das Nanotecnologias**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Meio Ambiente 62, ISSN 1516-4675, 2011. 76p.



EMBRAPA (2007), **Nanotecnologia na Agricultura Aumenta seu Papel Social e de Inclusão**. Disponível em < <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2007/outubro/2a-semana/nanotecnologia-na-agricultura-aumenta-seu-papel-social-e-de-inclusao/>>. Acesso em 28 fev. 2012.

LINSTER, M. **OECD work on environmental indicators**. 2003. Disponível em: < <http://www.oecd.org/dataoecd/11/56/34564152.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2012.

MEADOWS, D. **Indicators and information systems for sustainable development: a report to the Balaton Group** . [S.I.]: The Sustainability Institute, 1998. 95 p.

OECD. **OECD core set of indicators for environmental performance reviews**. Paris, 1993. 38 p.

OECD. **OECD environmental indicators: development, measurement and use**. Paris, 2003. 37 p.

QUINA, F. H., **Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos**. Revista Química Nova, Vol. 27, N° 6, 1028-1029, 2004. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n6/22297.pdf>>. Acesso em 21 fev.2012.

RAMOS, S.F. MARTINS, R. DULLEY, R.D. ASSUMPTÃO, R. NOGUEIRA, E.A. NOGUEIRA JUNIOR, S. BARBOSA, M.Z. LACERDA, A.L.S. **Reflexões Acerca das Nanotecnologias e as Novas Densidades Técnicas- Científicas- informacionais na Agricultura**, Disponível em <<http://www.scielo.org.mx/pdf/estsoc/v17n34/v17n34a13.pdf>>. Acesso em 27 fev.2012.

RIBOLDI, B.M. **Nanotecnologia Fundamentos e Aplicações**; Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/showdefisica/ensino/Nanotecnologia.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2012.

SÁNCHEZ, L. H. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 496 p.





**6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2012**  
**13 a 15 de agosto de 2012 – Jaguariúna, SP**

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

---