

**Emprego e Adaptação do
Método GMP-RAM para
Avaliação dos Riscos
das Nanotecnologias**

ISSN 11516-4675
Dezembro, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 62

Emprego e Adaptação do Método GMP-RAM para Avaliação dos Riscos das Nanotecnologias

Carolina de Castro Bueno
Katia Regina Evaristo de Jesus

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 Km 127,5 - Tanquinho Velho

Caixa Postal 69

CEP 13820-000 Jaguariúna, SP

Fone: (19) 3311-2650

Fax: (19) 3311-2640

<http://www.cnpma.embrapa.br>

sac@cnpma.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Marcelo Augusto Boechat Morandi*

Secretária-Executiva: *Vera Lúcia S. S. de Castro*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecário: *Victor Paulo Marques Simão*

Membro Nato: *Adriana M. M. Pires*

Membros: *Lauro Charlet Pereira, Fagoni Fayer Calegario, Aline de Holanda Nunes Maia, Nilce Chaves Gattaz, Marco Antonio Ferreira Gomes e Rita Carla Boeira*

Normalização bibliográfica: *Victor Paulo Marques Simão*

Editoração eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

1ª edição eletrônica (2011)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente**

Bueno, Carolina de Castro.

Emprego e adaptação do método GMP-RAM para avaliação dos riscos das nanotecnologias / Carolina de Castro Bueno, Katia Regina Evaristo de Jesus. – Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2011.

76 p.— (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente; 62).

1. Nanotecnologia 2. Análise de risco 3. Metodologia. I. Bueno, Carolina de Castro. II. Jesus, Katia Regina Evaristo de. III. Título. IV. Série.

CDD 333.714

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução	7
1.1. Métodos de Avaliação de Risco e de Impacto Ambiental (AIA).....	9
1.2. Métodos de Avaliação - Indicadores de Impacto.....	12
1.3. Aplicações de Nanotecnologia.....	15
1.4. Nanotecnologia e Plantas Geneticamente Modificadas	19
2. Material e Métodos	22
2.1. Emprego e Adaptação do Método GMP-RAM para Avaliação dos Riscos das Nanotecnologias.....	22
2.2. Método GMP-RAM	22
2.3. Adaptação metodológica para avaliação de risco das Nanotecnologias	29
3. Resultados e Discussão.....	29
3.1. Indicadores de Riscos Potenciais	30
3.2. GMP-RAM – Justificativas para o Caso das Nanotecnologias	43
3.3. Matriz de Avaliação.....	53
3.4. Gerenciamento de Risco das Nanotecnologias.....	55
4. Conclusão	62
Referências.....	65

Emprego e Adaptação do Método GMP-RAM para Avaliação dos Riscos das Nanotecnologias

Carolina de Castro Bueno¹

Katia Regina Evaristo de Jesus²

Resumo

A Nanotecnologia está baseada na crescente capacidade da tecnologia moderna em manipular átomos e partículas na nanoescala para criar novos materiais e desenvolver novos produtos e processos. Ela promete grandes avanços nas mais diversas áreas de atuação, desde a Medicina à Engenharia de Materiais. Apesar dos materiais nanoestruturados apresentarem propriedades físicas diferentes do seu correspondente convencional, ainda não há metodologias para avaliação de riscos direcionadas ao uso intensivo desses novos materiais e substâncias químicas. Neste cenário, o presente trabalho propõe o emprego e adequação de uma metodologia comumente empregada para a avaliação de risco de transgênicos para o caso das nanotecnologias. O método GMP-RAM já foi empregado com sucesso para o caso do mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar³.

Palavras-chave: nanotecnologia, avaliação de risco, metodologia GMP-RAM

¹Estagiária da Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP.

²Bióloga, Doutora em Biotecnologia, Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 - Km 127,5 - Tanquinho Velho, Cep. 13.820-000 Jaguariúna, SP. katiareg@cnpma.embrapa.br

³JESUS-HITZSCHKY, K. R. E.; CREMONEZI, S. M. N.; LIMA, D. U. (2007). Jaguariúna (SP): Embrapa Meio Ambiente, Boletim de Pesquisa 45, 60p. Disponível em: < http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim_45.pdf>.

GMP-RAM Method use to perform the case study of the nanotechnology risk assessment

Abstract

Nanotechnology is based on the increasing power of modern technology to manipulate atoms and particles at the nanoscale to create new materials and develop new products and processes. It promises great advances in several areas of expertise, from medicine to Materials Engineering. Although engineered nanomaterials present different physical properties of its corresponding conventional, there are no methodologies for risk assessment to determine the intensive use of these new materials and chemicals. In this scenario, this study proposes the use and adequacy of a methodology commonly used for the risk assessment of transgenic for the case of nanotechnology. The GMP-RAM Method has already been used successfully to perform the case study of the papaya genetically modified for resistance to the ringspot virus.

Keywords: nanotechnology, risk assessment, GMP-RAM methodology

1. Introdução

O rápido desenvolvimento da nanotecnologia faz movimentar anualmente uma indústria multibilionária (ALLHOFF et al., 2007 apud BUSECK; ADACHI, 2008). São muitas as aplicações das nanotecnologias. Em geral, vêm sendo empregadas para economia de energia, proteção do meio ambiente, menor uso de matérias primas, além de empregos associados à saúde humana, como a liberação controlada de drogas no organismo e também na área alimentar, com o desenvolvimento de filmes nano e microestruturados comestíveis para revestimentos de frutas e legumes minimamente processados ou in natura (BUSECK; ADACHI, 2008).

Com esta nova tecnologia surgiram questões sobre a segurança e saúde ocupacional de trabalhadores envolvidos diretamente no desenvolvimento de produtos nanotecnológicos, 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, pode-se citar a poluição gerada por nanomateriais e/ou durante a síntese destes. Este tipo de poluição, formada por nanopartículas, pode oferecer um risco grande, já que pode ser transportada facilmente pelo ar, viajando por grandes distâncias. Devido ao seu pequeno tamanho, os poluentes artificiais em escala nanométrica podem entrar e sair das células de animais e plantas ou serem acumulados em seus tecidos e/ou órgãos (LARESEA et al., 2009; LAM et al., 2004; GEISER; KREYLING, 2010; MOOS et al., 2010). Como a maioria desse tipo de poluente não existe na natureza, muitos organismos provavelmente não terão os meios apropriados de metabolizá-los ou eliminá-los, causando danos ainda não conhecidos. Por exemplo, a acumulação dessas nanopartículas pode ocorrer no tecido adiposo e os poluentes - metais tóxicos e alguns agroquímicos, como o DDT (dicloro-difenil-tricloroetano) e o amianto - poderiam se acumular na cadeia alimentar.

A ONU (NAÇÕES UNIDAS, 1999) aponta uma série de vantagens para os países em desenvolvimento no que diz respeito ao uso da nanotecnologia. As vantagens estão no campo do meio ambiente, no sentido de eliminar poluições, de usar menos recursos naturais, de fazer um gerenciamento melhor das áreas contaminadas, de ter um saneamento básico melhor (água tratada à disposição da população), entre outros.

Apesar da crescente preocupação em relação às potencialidades negativas da nanotecnologia para o meio ambiente e/ou para a saúde humana, ela ainda não enfrenta nenhuma oposição tecnofóbica sistemática. Dentre as manifestações, destaca-se um pedido de moratória na pesquisa em nanotecnologia molecular, feito pelo ETC Group (A INVASÃO..., 2004) do Canadá - uma obra de ficção sobre as consequências de liberação de nano-robôs auto-replicantes ao meio ambiente - (CRICHTON, 2003) e a obra de Eric Drexler (1987) - Engines of Creation - que discorre sobre as projeções de como a revolução nanotecnológica poderá afetar o futuro da sociedade.

Conforme as tecnologias vão sendo transferidas, observa-se uma maior comercialização de produtos nanorelacionados como purificadores de ar, toalhas e meias antibactericidas, produtos de limpeza, fármacos, entre outros. Neste cenário, é importante conhecer os impactos, as questões éticas potenciais e os problemas sociais que irão surgir com o uso das nanotecnologias. Uma perspectiva para analisar esses pontos é o desafio da comercialização da nanotecnologia. Ela pode ser melhor compreendida analisando a Figura 1.

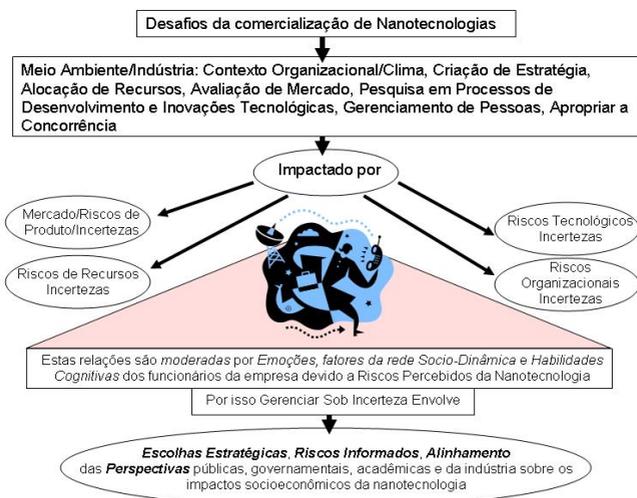


Figura 1. Desafios da comercialização de nanotecnologias. Adaptado de National Science Foundation - Nanoscale Science and Engineering Center for Directed Assembly of Nanostructures, 2009.

1.1. Métodos de Avaliação de Risco e de Impacto Ambiental (AIA)

A expressão “Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)” ficou bastante conhecida na literatura ambiental a partir da legislação pioneira que criou esse instrumento de planejamento ambiental, National Environmental Policy Act - NEPA, a lei de política nacional do meio ambiente dos Estados Unidos (SÁNCHEZ, 2006). Essa lei torna obrigatória a elaboração de uma declaração detalhada, que equivale ao atual estudo de impacto necessário em muitos países para a aprovação de projetos em variadas áreas.

Neste sentido, é interessante procurar caracterizar uma avaliação de impacto. Segundo SANTOS (2004), “a avaliação de impacto significa a interpretação qualitativa e quantitativa das mudanças de ordem ecológica, social, cultural ou estética no meio ambiente”. Já SÁNCHEZ (2006) cita uma definição sintética adotada pela Associação Internacional para Avaliação de Impacto (International Association

for Impact Assessment – IAIA): “avaliação de impacto, simplesmente definida, é o processo de identificar as consequências futuras de uma ação presente ou proposta”. As definições podem ser diferentes em suas essências, mas uma AIA será apresentada, seja como instrumento, seja como procedimento, onde predomina o caráter prévio e preventivo para analisar os efeitos de uma decisão. É interessante, nesse contexto, voltar a atenção para o termo AIA. Ele, em um primeiro momento, passa uma ideia superficial de sua abrangência: o campo ambiental, mas não se pode esquecer, em um segundo momento, que o termo “ambiental” é vasto. Ao mesmo tempo que abrange questões de modificação da fauna, flora, recursos hídricos, e outros, ele também liga todas as esferas de possíveis impactos, como o ético, político, econômico, saúde, por exemplo, já que estes possuem uma relação de causa-efeito significante.

A primeira etapa de um processo de avaliação de impacto é identificar a natureza da modificação e seu agente causador, de forma a atribuir responsabilidades, enquadramento desses impactos em conceitos corretos e o monitoramento dos mesmos. O segundo passo é qualificar o tipo de impacto encontrado de acordo com a validade do método de seleção dos dados em que a informação se baseia. SANTOS (2004) sugere que os impactos podem ser classificados como efetivos ou prováveis:

“Impacto efetivo é aquele que está ocorrendo no momento da verificação, constatado por observação direta de campo ou por imagens de sensores. Impacto provável é aquele que pode vir a ocorrer, previsto em virtude das atividades e indícios diagnosticados pela observação in situ ou por meio da análise de temas e indicadores definidos para o planejamento. Ambos podem ser mensurados, porém o grau de confiabilidade para tomadas de decisão no planejamento é diferente.”

A AIA sempre é organizada na forma de um processo de avaliação de impacto, que apresenta as seguintes características: desenhar um conjunto estruturado de procedimentos; ser regido por leis ou

regulamentações específicas; ser documentado; envolver diversos participantes e; ser voltado para a análise da viabilidade ambiental de uma proposta (SÁNCHEZ, 2006). Segundo a AIA (SÁNCHEZ, 2006), todo esse processo é feito com o propósito de:

- assegurar que as considerações ambientais sejam explicitamente tratadas e incorporadas ao processo decisório;
- antecipar, evitar, minimizar ou compensar os efeitos negativos relevantes biofísicos, sociais e outros, e;
- proteger a produtividade e a capacidade dos sistemas naturais, assim como os processos ecológicos que mantêm suas funções.

Para analisar a viabilidade ambiental de um projeto, é somado ao processo de avaliação de impacto as possíveis consequências do mau funcionamento de um empreendimento, que, por sua vez, podem ser mais significativas do que os impactos decorrentes de seu funcionamento normal. É a chamada Avaliação de Risco (AR). SÁNCHEZ (2006) indica que o risco ligado a acidentes tecnológicos é uma grande preocupação e, por isso, tem um peso significativo na AIA. Os riscos tecnológicos são aqueles cuja origem está diretamente ligada à ação humana. Incluem-se aqui também os riscos à saúde. As atividades de risco são aquelas capazes de causar dano à saúde ambiental e modificações bruscas na estrutura de uma sociedade, seja parcial ou não.

A Avaliação de Risco (AR) é usualmente dividida em quatro etapas: identificação dos perigos; análise das consequências e estimativa dos riscos; avaliação dos riscos e; gerenciamento dos riscos. A Avaliação de Risco, antes de ser uma tentativa de estimar matematicamente as probabilidades de um evento e a magnitude de suas consequências, implica o juízo de valor de decisões (SÁNCHEZ, 2006).

A associação dessas avaliações, portanto, deve necessariamente ser levada em conta na análise e na discussão de impactos gerais da introdução de novas tecnologias em uma sociedade. Ao final

do processo, elas podem até determinar a aceitação ou não desses avanços tecnológicos mesmo havendo, em muitos casos, um déficit de informações voltadas para a sociedade.

1.2. Métodos de Avaliação – Indicadores de Impacto

Nos anos recentes o uso de indicadores cresceu rapidamente em diferentes campos, incluindo o econômico, ambiental e de saúde (BRIGGS, 2003). De acordo com MEADOWS (1998) indicadores podem ser definidos como a parte necessária para o fluxo de informações na tomada de decisões e planejamento de ações. De acordo com a definição da OECD (2003), indicadores são

“ferramentas de avaliação que devem ser interpretadas de maneira científica e política; devem ser completados com outras informações qualitativas e científicas, sobretudo para explicar fatores que se encontram na origem de uma modificação do valor de um indicador que serve de base a uma avaliação.”

Apesar da importância dos indicadores, esses devem ser empregados com cuidado, pois, se tornam o centro do processo de tomada de decisão. Assim, se um indicador de estado de um sistema, por exemplo, é deficientemente escolhido, inadequadamente medido ou tendencioso, as decisões baseadas nele não serão efetivas; ou seja, poderão causar mudanças que são muito fracas ou muito exageradas para trazer o sistema para o estado desejado (MEADOWS, 1998).

Segundo BRIGGS (2003), a importância do indicador é refletida por seu propósito e pelo modo como será empregado. Indicadores são pontos de influência (MEADOWS, 1998): sua presença ou ausência, exatidão ou não, uso ou não uso, podem influenciar decisivamente a avaliação do sistema.

Existem diversos tipos de indicadores como os sociais, econômicos, de pobreza, de sustentabilidade, ambientais, entre outros. GABRIELSEN e BOSCH (2003) classificam os indicadores em cinco grupos, de acordo com a resposta para o mesmo:

- O que está acontecendo com o ambiente e com seres humanos? Tipo A ou indicador descritivo.
- Isto importa? Tipo B ou indicador de desempenho.
- Estamos melhorando? Tipo C ou indicador de eficiência.
- Relatam a atual mudança de variáveis ambientais para esforços políticos. Tipo D ou indicadores de eficiência política.
- Estaremos na melhor situação? Tipo E ou indicador de bem-estar total

Estudiosos da área de planejamento defendem que é necessário ter um modelo de classificação e sistematização dos indicadores. O modelo mais utilizado é o de Pressão-Estado-Resposta (PER), desenvolvido pela Organização para Desenvolvimento e Cooperação Econômica (OECD, 2001). A sua base de construção é a causalidade, e pode ser esquematizado da seguinte maneira:

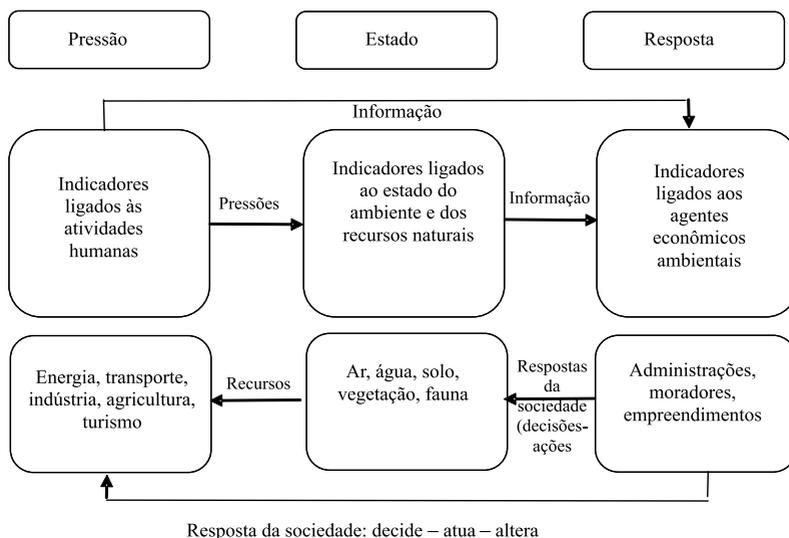


Figura 2. Esquematisação do Modelo PER – Pressão-Estado-Resposta. Fonte: Adaptado de Santos, 2004

Segundo LINSTER (2003), os indicadores ambientais possuem duas funções principais:

1. Eles reduzem o número de mensurações e parâmetros para dar um parecer sobre a situação. Isso é imprescindível já que um conjunto com um grande número de indicadores tende a levar o usuário à desorganização do panorama a que se destina;
2. Eles simplificam o processo de comunicação.

Como um indicador é utilizado para atingir diversos objetivos, é necessário definir um critério geral para selecionar indicadores e validar sua escolha. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 1993) estabelece os critérios para selecionar indicadores ambientais: relevância política e utilidade para usuários e mensurabilidade. Esses critérios podem ser desenvolvidos para elucidar o que um indicador ambiental deve representar:

1. Relevância política e utilidade para usuários: fornecer um cenário representativo das condições ambientais, pressões no ambiente ou resposta da sociedade; ser simples, fácil de interpretar e capaz de mostrar tendências ao longo do tempo; responder às mudanças no ambiente e relacioná-las com atividades humanas; promover uma base para comparações internacionais; ser de âmbito nacional ou aplicável para questões ambientais regionais de significância nacional; ter um limiar ou valor de referência com o qual se pode comparar, para que os usuários possam avaliar seu significado.
2. Mensurabilidade: estar disponível com um razoável custo/benefício; adequadamente documentado e com qualidade reconhecida por Órgãos e Organizações específicas; ser atualizado em intervalos regulares de acordo com procedimentos sólidos, ou seja, estar baseado em normas e padrões pré-determinados.

1.3. Aplicações da Nanotecnologia

No decorrer do levantamento de aplicações e indicadores de impacto relacionados com novas tecnologias, foi visto que há uma vasta literatura a respeito das aplicações das nanotecnologias. Ao mesmo tempo, os impactos relacionados a essa nova tecnologia não são diretamente abordados na literatura científica, deixando uma lacuna no processo de liberação e aceitação de produtos que contenham essa tecnologia. Nos últimos cinco anos, porém, os impactos pertinentes a nanotecnologia vem adquirindo espaço e importância na comunidade científica.

A maioria das atuais aplicações das nanotecnologias é de natureza evolutiva, oferecendo melhorias incrementais em produtos já existentes e, geralmente benefícios econômicos e sociais modestos. Por exemplo, a nanotecnologia está sendo usada em: pára-choques de automóveis; plataformas de carga; aumento da resistência à riscos e arranhões e eliminação da ferrugem; em roupas para aumentar a resistência a manchas e enrugamento; e em artigos esportivos, como tacos de beisebol e clubes de golfe, para melhorar o desempenho, etc. Como dizia SMALLEY, a nanotecnologia era a solução clara para descobertas que abrem a possibilidade de nos mover além das alternativas atuais de produção de energia introduzindo tecnologias que são mais eficientes e ambientalmente responsáveis (ENERGY, 2005).

SARGENT (2008) indica áreas em que esses possíveis avanços podem ser revolucionários:

“Tecnologias para a detecção e tratamento do câncer e de outras doenças mortais. Energia limpa, de baixo custo e renovável, através de tecnologias de criação, armazenamento e transmissão de energia. Acesso universal a água limpa. Dispositivos de memória de alta densidade. Aumentar o rendimento agrícola e melhorar a nutrição. Sensores que podem alertar para níveis ínfimos de toxinas e agentes patogênicos do ar, solo ou água. Reabilitação ambiental de sítios contaminados.”

O Congresso dos Estados Unidos demonstra muito interesse e apoio à nanotecnologia em função do seu extraordinário potencial para gerar crescimento econômico, empregos com salários elevados, e outros benefícios sociais para a nação (SARGENT, 2008).

Segundo MEILI (2006), além de oferecer muitas oportunidades, a nanotecnologia é também associada a riscos potenciais. Devido a isso, essa tecnologia provocou uma busca por governança de riscos responsáveis. Este acontecimento fez surgir muitos documentos governamentais e literatura científica das áreas de humanas e biológicas que tem levantado preocupações sobre a segurança dos nanomateriais. Existe um consenso geral de que mais informações sobre as implicações desses materiais nas áreas de saúde, social e econômica são necessárias para: proteger o público e o meio ambiente de possíveis riscos; para avaliar e gerir os riscos; e para criar um ambiente regulamentar que favoreça o investimento prudente em inovações relacionadas à nanotecnologia.

SARGENT (2008) aponta que a nanofabricação - a ponte entre a nanociência e produtos de nanotecnologia - pode exigir o desenvolvimento de novas tecnologias, ferramentas, instrumentos de medição científica, bem como normas para permitir a produção segura, eficaz e acessível em escala comercial de produtos de nanotecnologia. A aceitação pública pode também afetar o ambiente para P&D, regulamentação, e aceitação no mercado de produtos que incorporam nanotecnologia.

As regulamentações e normas no campo da nanotecnologia ainda estão em fase inicial. GLENN e BOUYCE (2008) comentam que nessa área já existe muito foco no aspecto legal no que tange a propriedade intelectual, preservação dos direitos de propriedade, lei de patentes e implicações políticas, todos relacionados às questões de propriedade.

Atualmente, o conhecimento das rotas de exposição, bem como dos potenciais impactos ambientais das nanopartículas é muito limitado. Além disso, o potencial dos recursos e vantagens ambientais dos

nanomateriais e produtos utilizando nanomateriais sobre produtos convencionais não foram investigados. Portanto, existe uma clara necessidade de estabelecer um pleno entendimento dos benefícios ambientais e os inconvenientes das nanotecnologias e nanomateriais, em comparação com os de tecnologias e produtos convencionais através de todo seu ciclo de vida. Essa é a ferramenta essencial para alcançar este objetivo dentro da nanotecnologia (KARN; AGUAR, 2007). A Figura 3 mostra o estágio da avaliação do ciclo de vida para produtos a serem comercializados.

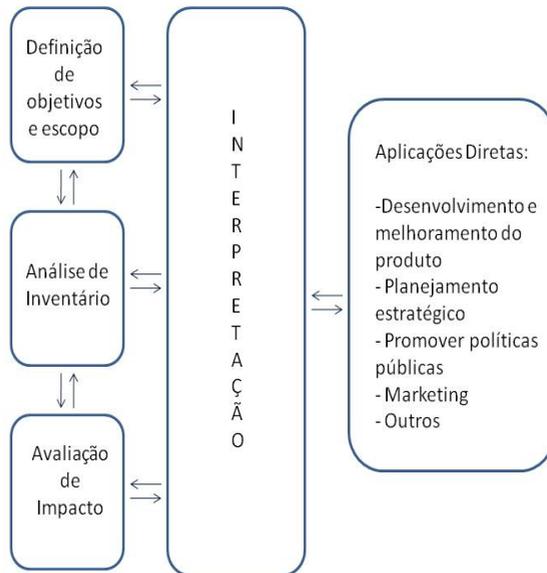


Figura 3. Estágios da Avaliação do Ciclo de Vida (adaptado da ISO 14040:2006 in Karn e Aguar, 2007).

O Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks aponta que riscos à saúde e ao meio ambiente têm sido demonstrados por uma variedade de nanomateriais fabricados (SCENIHR, 2009). Os perigos identificados indicam potenciais efeitos tóxicos de nanomateriais para o homem e o ambiente. No entanto, convém notar que nem todos os nanomateriais podem causar efeitos tóxicos significativos. Alguns nanomateriais fabricados já estão em uso por um longo tempo (por exemplo, TiO₂) mostrando baixa toxicidade. O mesmo comitê afirma que as metodologias de avaliação de risco hoje existentes podem ser aplicáveis aos nanomateriais, a saber:

“Embora metodologias de avaliação de riscos para a avaliação dos riscos potenciais das substâncias e materiais convencionais para o homem e para o ambiente sejam amplamente utilizadas e geralmente aplicáveis aos nanomateriais, os aspectos específicos relacionados com os nanomateriais ainda carecem de maior desenvolvimento. Isto irá continuar a acontecer até que a informação científica disponível seja suficiente para caracterizar os efeitos nocivos dos nanomateriais sobre o homem e o ambiente. A metodologia para estimativas de exposição e identificação de perigo precisa ser desenvolvida, validada e normalizada. O maior risco e, portanto, preocupação, é considerada como sendo associada à presença ou ocorrência de partículas livres insolúveis (não vinculados) em uma solução líquida ou partículas aerotransportadas.” (SCENIHR, 2009)

SCENIHR (2009) também afirma que a avaliação de risco é aplicável aos nanomateriais. Contudo, a avaliação de riscos de nanomateriais na área de alimentação deve considerar as propriedades específicas desses materiais: o pão australiano Tip Top tem incorporado em sua massa nanocápsulas de Ômega 3 (Tip Top - <http://www.tiptop.com.au/>); assim, além da sua função alimentícia incorpora a função de suplemento alimentar. As incertezas atuais para avaliação de riscos resultante da nanofabricação devem-se à dificuldade de caracterizar, detectar e medir nanopartículas nos alimentos e matrizes biológicas; e à informação limitada disponível em relação aos aspectos toxicocinéticos e toxicológicos. “Existe um conhecimento limitado sobre os níveis de uso atuais e (possivelmente)

exposição a produtos e aplicações na área de alimentos”, afirma SCENIHR (2009).

1.4. Nanotecnologia e Plantas Geneticamente Modificadas

Paralelismos são frequentemente construídos entre o desenvolvimento emergente das nanotecnologias e a introdução de organismos geneticamente modificados (OGM's). Esta comparação deve-se ao fato de que ambas tecnologias foram introduzidas sem um entendimento claro das visões do público e das partes interessadas, e da repercussão profundamente influenciada pelas grandes empresas detentoras dessas tecnologias (SUTCLIFFE; HODGSON, 2006).

BENNETT e CALMAN (1999 apud SUTCLIFFE; HODGSON, 2006) realizaram um trabalho para o UK Government's Department of Health and Lux Research onde são exploradas as semelhanças e diferenças entre nanotecnologia e plantas geneticamente modificadas usando “fatores de receio de Bennett”. Esses fatores criados pelo autor são baseados em pesquisas já publicadas ao longo dos anos e “medidos” através da chamada “tradição psicométrica”; eles discutem se a exposição à tecnologia não pode ser evitada através da escolha individual, se o produto é desconhecido ou singular, se é feito pelo homem e não pela natureza e se está sujeita a declarações contraditórias.

A seguir são expostos alguns desses fatores propostos por BENNETT (1999 apud SUTCLIFFE; HODGSON, 2006) (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação entre OGM's e Nanotecnologia. Adaptado de Sutcliffe e Hodgson (2006).

"Fator de Receio"	OGM's - Alimentos	Nanotecnologias
Involuntário – por exemplo, exposição à poluição em contraste com esportes perigosos ou fumar	Presente em alimentos sem exposição na embalagem	Consumidores são suscetíveis a utilizar produtos que contenham nanomateriais sem saber
Distribuição desigual – benefícios para alguns enquanto outros podem sofrer consequências	O público em geral considera que empresas e agricultores são beneficiados enquanto os riscos cairiam sobre os consumidores e o meio ambiente	Em alguns casos em particular, os consumidores podem ser expostos à nanopartículas sem experimentar os benefícios dessas partículas
Inescapável – mesmo tomando precauções pessoais	Os agricultores não são capazes de evitar a poluição cruzada do pólen geneticamente modificado e falta de rotulagem significativa para que os consumidores possam optar por não comprar alimentos geneticamente modificados	Algumas precauções devem ser tomadas para se afastar da exposição, mas é pouco provável que sejam bem entendidos ou confiáveis
Desconhecido ou singular – particularmente quando provém de uma nova fonte	Esta tecnologia inicialmente se promoveu como 'nova e aperfeiçoada'	Nanotecnologia é certamente uma tecnologia singular e ainda é um mistério para a maioria do público
Feito pelo homem e não pela natureza	Visto como "o homem mexendo/interferindo na natureza".	Aplica-se particularmente à engenharia de nanopartículas e possíveis aplicações para melhor qualidade de vida humana
Dano irreversível e não perceptível – como, por exemplo, o aparecimento de doenças após vários anos de exposição	Incertezas sobre danos em longo prazo na saúde humana e no meio ambiente	Nanopartículas podem se acumular no corpo humano e/ou no meio ambiente sem o conhecimento dos consumidores, levando a efeitos crônicos
Perigo para crianças, mulheres grávidas ou gerações futuras	A contaminação ou modificação de ecossistemas por OGM's são considerados potenciais fardos para as gerações futuras, em particular. Os agricultores de países em desenvolvimento foram considerados como vulneráveis e possíveis alvos de exploração por interesses econômicos	Enquanto as aplicações específicas possam ser diferentes, na maioria dos casos, as gerações futuras não estarão diante de grandes riscos (?). Existem preocupações similares sobre exploração e desigualdades em economias vulneráveis
Falecimento por uma forma desconhecida	Não há convergência de opiniões	Não existe uma "ameaça nuclear", mas existe a possibilidade que a exposição à nanopartículas pode causar câncer ou outras, em condições semelhantes.
Danos identificáveis em vítimas que não sejam anônimas	Foco em agricultores e possíveis implicações para a qualidade de vida	Consumidores podem ser anônimos, mas a exposição fabril pode afetar trabalhadores
Pouca compreensão pela Ciência	Inicialmente foram tratadas questões sobre incertezas científicas, e ainda estão em pauta questões sobre o cruzamento de plantas geneticamente modificadas e plantas selvagens para a produção de novas espécies	Pesquisadores e Órgãos Reguladores estão buscando entender os possíveis efeitos da nanotecnologia. Mas ainda é preciso mais investimento para estudos dessa natureza
Sujeito a declarações contraditórias de diferentes fontes confiáveis, ou pior, da mesma fonte	Debates polarizados como "a salvadora da agricultura" e a queda da mesma tecnologia	1. Os consumidores são confrontados com utópicas e reais visões dos efeitos da nanotecnologia

MEHTA (2002) também faz uma analogia semelhante à SUTCLIFFE; HODGSON. Ele começa sua exposição relatando a inserção dos organismos geneticamente modificados no Canadá em 1994. Inicialmente esses alimentos foram inseridos no mercado sem a devida rotulagem ou notificação, expondo os consumidores a essa tecnologia. Anos mais tarde, essa falha junto aos consumidores canadenses começou a produzir efeitos negativos; veio à tona a rejeição aos produtos modificados geneticamente por parte dos consumidores e, assim, organizações não governamentais (ONG's) começaram a pressionar o Parlamento Canadense por mudanças na rotulagem. Mesmo com algumas mudanças, até os dias atuais, os consumidores canadenses ainda continuam expressando baixos níveis de confiança na tecnologia do DNA recombinante (MEHTA, 2002).

MEHTA (2002) defende que a biotecnologia não teve uma completa aceitação, pois ela estava baseada na “tríplice hélix”, ou seja, baseada somente na opinião do Estado, indústria e universidades. Da mesma forma, hoje as três bases da hélix estão investindo massivamente em pesquisas com nanotecnologia, mas poucos esforços estão sendo feitos para incluir a população nesse plano, que seria a “quarta hélix” - a chave da aceitação e sucesso comercial em longo prazo.

Dessa forma, pode-se notar na literatura a especificidade acima que os organismos geneticamente modificados e nanotecnologia possuem muitas características em comum. Logo, teoricamente, uma metodologia de avaliação de risco para as nanotecnologias poderia ter o mesmo embasamento de ponderação que a avaliação de risco empregada comumente para OGM's, sem aparente perda da confiabilidade dos resultados.

Desse modo, o emprego do Método GMP-RAM para a avaliação das nanotecnologias tem por finalidade equacionar o atual contexto de emprego das tecnologias na escala nanométrica e avaliar objetivamente seus riscos potenciais.

Assim, são sugeridos neste trabalho os principais indicadores de impacto para as nanotecnologias a partir de dados levantados da literatura científica. Posteriormente a esta etapa inicial de levantamento de dados e sistematização da informação, foi realizado o preenchimento e adequação do Método/Software GMP-RAM. A conclusão deste trabalho apresenta algumas propostas de gerenciamento de risco para as tecnologias em nanoescala tendo em vista melhorar a segurança da sua liberação no meio ambiente e para saúde humana.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Emprego e Adaptação do Método GMP-RAM para Avaliação dos Riscos das Nanotecnologias

Este trabalho foi desenvolvido a partir do planejamento e previsão de impactos e riscos resultantes das aplicações e liberações das nanotecnologias no ambiente. A atividade de previsão dos riscos dessa nova tecnologia envolve cinco etapas:

1. Levantamento dos indicadores de riscos a partir da consulta à literatura especializada.
2. Embasamento científico dos dados levantados.
3. Ponderação dos indicadores através de pesos a serem atribuídos de acordo com o critério definido na metodologia de avaliação a ser empregada, neste caso o GMP-RAM.
4. Análise dos resultados fornecidos pelo método: índices de risco e recomendações de manejo de risco para cada indicador apresentadas na Matriz de Risco.
5. O trabalho será finalizado após a análise detalhada de todos os resultados apresentados pelo Método GMP-RAM. A partir disto será elaborada uma lista com recomendações para o 'Gerenciamento do Risco das Nanotecnologias' para orientar os usuários potenciais sobre as melhores formas de manejo para mitigar impactos potenciais associados ao seu emprego e liberação no meio ambiente.

2.2. Método GMP-RAM

A análise de risco de uma nova tecnologia deve ser feita com o intuito de prever a ocorrência de um impacto negativo sobre o meio ambiente, a saúde humana e a sociedade. Dessa maneira, o método proposto por JESUS et al. (2006) - GMP-RAM (Risk Assessment Method for Genetically Modified Plants) representa uma alternativa para auxiliar a gestão ambiental racional, na medida em que esse tipo de análise possibilita que medidas preventivas sejam tomadas quando da aplicação da tecnologia, com a finalidade de mitigar os efeitos para os quais foram atribuídos os riscos.

O método proposto está baseado em outros métodos de análise de risco e impactos, com aplicação em outras áreas, como o Ambitec-Agro (RODRIGUES et al., 2003a; 2003b), Matriz de Leopold (LEOPOLD, 1971 apud JESUS et al., 2006) e métodos de avaliação de impactos ambientais utilizados na implementação do sistema ISO 14000. Muitos dos indicadores ou parâmetros empregados nesta metodologia já tinham sido validados ou descritos em relatórios anteriores (EFSA, 2004; NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2006). O diferencial desta avaliação de risco é a atribuição de valores para os parâmetros específicos. Estes valores permitem descrever e comparar a avaliação de risco com ferramentas quantitativas. Os riscos a serem analisados são organizados de acordo com suas fontes potenciais de exposição, tais como: gene inserido, proteína expressa, característica da planta geneticamente modificada (PGM), fluxo gênico, introdução da tecnologia e ocorrências inesperadas (acidentes).

Todas as características que devem ser analisadas para a liberação de uma PGM, ou pelo menos, os parâmetros mais questionados pelos pesquisadores, podem ser reunidas nestes grupos de avaliações. Todas as atividades relacionadas com a liberação comercial, testes de campo, experimentos em casa de vegetação ou, até mesmo, ensaios laboratoriais podem ser avaliados por este método.

Portanto, esta ferramenta pode ser usada em todo o processo de desenvolvimento de uma planta geneticamente modificada, desde o pesquisador durante a pesquisa de novas características, até os reguladores na avaliação para a liberação comercial das PGMs. Obviamente, a troca de informações e experiências entre todos os envolvidos permite uma análise mais completa da segurança da PGM.

A sugestão de indicadores gerais funciona como um norteador para o usuário e facilita o emprego do método e seu preenchimento. Para tanto, a avaliação pode ser utilizada - ex ante ou ex post - em jornada de trabalho presencial - reunindo especialistas de diversas formações, desde o criador da tecnologia e o agrônomo de campo até atores importantes no processo de regulação e fiscalização.

A metodologia "Avaliação de Risco de Plantas Geneticamente Modificadas – GMP-RAM" foi o primeiro método criado para a análise de risco de PGM. Esta ferramenta foi construída pela equipe da Embrapa Meio Ambiente em parceria com a Embrapa Informática Agropecuária e Embrapa Arroz e

Feijão e culminou na elaboração do Software GMP-RAM v.1.0 como um método dedicado para avaliação dos riscos de Plantas Geneticamente Modificadas.

O Software GMP-RAM v.1.0 tem por finalidade auxiliar o emprego da metodologia de Avaliação de Risco de Plantas Geneticamente Modificadas. Esse programa apresenta duas ferramentas: i) Planilhas para a elucidação da Evidência de Risco, e ii) Matriz de Avaliação. A primeira ferramenta é utilizada para identificar e caracterizar o risco potencial relacionado ao uso de determinado PGM. A planilha pré-formatada permite a atribuição de valores indicando o índice do risco e sua significância no contexto da atividade a ser desenvolvida. Posteriormente, a matriz apresenta a estrutura para a visualização do impacto potencial por meio de um formato ilustrativo que possibilita a identificação do manejo mais adequado para o uso do PGM de uma maneira tão segura quanto a tecnologia tradicional.

O método disponível para download no site da Embrapa Meio Ambiente: http://www.cnpma.embrapa.br/forms/gmp_ram.php3, prevê a automação das planilhas e de matriz criadas com sistema de programação em Delphi.

2.2.1. Planilhas de Evidência dos Riscos

Com o objetivo de garantir a adequada instrumentação para subsidiar a avaliação, foram propostas planilhas nas quais são apresentadas informações importantes para o caso das PGM. Nestas planilhas foram estabelecidas as “Fontes de Risco/Exposição”, os “Riscos Potenciais” e os “Critérios para Avaliação” para sua caracterização. Os indicadores sugeridos foram baseados em: levantamentos das características das nanotecnologias atualmente em desenvolvimento, embasamento científico de literatura específica e documentos internacionais que tratam da biossegurança. Assim, as planilhas de evidência dos riscos foram elaboradas a partir das informações (indicadores) apresentadas no item 3.

Nas planilhas cada risco é codificado com uma letra (de “a” até “o”) para permitir a identificação do indicador na Matriz de Avaliação, na faixa de risco que lhe for atribuída. Uma vez que novas características são encontradas é possível também adicionar parâmetros mais específicos para a sua avaliação (riscos potenciais podem ser inseridos nas linhas identificadas de “p” até “z”) de acordo com a especificidade da planta geneticamente modificada e baseado na análise caso a caso.

2.2.1.1. Índices de Ponderação

Na planilha, os riscos devem ser caracterizados com base em dados da literatura científica. Essa caracterização é feita através da atribuição de valores para a definição de dois índices: i) Índice de Risco, e ii) Índice de Significância, onde cada um deles é composto pelos Fatores de Ponderação: magnitude, exposição ao dano (ou seja, probabilidade de ocorrência), precedente, extensão e reversibilidade.

i) Índice de Risco – a definição deste índice leva em consideração os seguintes fatores:

$$\text{Índice de Risco} = \text{Magnitude} \times \text{Exposição ao dano} \times \text{Precedente}$$

Onde:

Magnitude do risco – este fator de ponderação representa uma previsão da intensidade ou magnitude de um efeito adverso. Tal intensidade deve ser quantificada de acordo com os valores apresentados abaixo:

Magnitude	Valores
Baixa	1
Média	2
Alta	4

Exposição ao dano - expressa o fator de exposição ao risco. Baseado nas informações existentes estima-se a probabilidade de ocorrência do efeito adverso através dos valores a seguir:

Exposição ao dano	Valores
Baixa	1
Média	2
Alta	4

Precedente – considera-se se um determinado efeito adverso já foi verificado anteriormente em decorrência do uso da tecnologia. Existem duas possibilidades de análises: a primeira seria a simples verificação da ocorrência anterior daquele risco em qualquer outra situação. Uma segunda avaliação seria a verificação do risco já ocorrido na mesma área em que se pretende instalar o empreendimento, assim, esta análise do Precedente avalia possíveis efeitos “cumulativos” dos efeitos adversos.

Precedente	Valores
Não	1
Sim	2

Com base na definição do Índice de Risco, ele pode variar, portanto, entre 1 (1x1x1) e 32 (4x4x2), o que permite uma classificação do Risco em: insignificante ou muito baixo; baixo; médio e alto, como mostrado a seguir: Referências

Risco	Índice de Risco
Insignificante/Muito Baixo	1-3
Baixo	4-7
Médio	8-15
Alto	16-32

ii) Índice de Significância – Adicionalmente, para uma completa caracterização dos riscos, é realizada a Avaliação de Significância, onde se busca definir critérios para a sua aceitabilidade com base na abrangência dos efeitos adversos e no potencial de retorno à situação anterior após a verificação dos mesmos. Esta análise é feita através do Índice de Significância, onde;

$$\text{Índice de Significância} = \text{Extensão} \times \text{Reversibilidade}$$

Extensão do risco - este fator de ponderação reflete o nível de abrangência ou a escala de ocorrência de um determinado efeito adverso, podendo ser:

- pontual: quando o efeito adverso restringe-se ao local da atividade;
- local: quando o efeito vai além da área da atividade, porém dentro dos limites da propriedade;
- entorno: efeito abrange além dos limites de disseminação da propriedade, sem a interferência do homem.

Assim, pode-se quantificar a extensão dos riscos conforme os valores abaixo:

Extensão	Valores
Pontual	1
Local	2
Entorno	4

Reversibilidade – refere-se à possibilidade de retorno à condição anterior ao efeito adverso.

Reversibilidade	Valores
Reversível naturalmente (sem manejo)	1
Reversível com manejo simples (substituição ou rotação da tecnologia por outra similar)	2
Reversível com manejo (alto investimento ou uso de métodos não convencionais à cultura)	4
Irreversível	8

A extensão e a reversibilidade do impacto são fatores de ponderação que devem ser analisados como agravantes no processo, afetando diretamente a tomada de decisão em relação às ações de mitigação dos riscos ou nas restrições de uso da tecnologia.

Da mesma forma, o índice de significância varia entre 1 (1x1) e 32 (4x8), podendo ser classificado entre “muito baixo” e “alto”, como se segue:

Significância	Índice de Significância
Insignificante/Muito Baixo	1-3
Baixo	4-7
Médio	8-15
Alto	16-32

2.2.1.2. Preenchimento das Planilhas

Em alguns casos, o “Risco Potencial” é composto por mais de um “Critério de Avaliação”. Nesta situação deve ser considerado o critério que apresente os maiores valores dos fatores de ponderação, ou seja, o que representar o efeito mais danoso.

2.2.2. Matriz de Avaliação

Após a identificação e caracterização dos riscos e da análise de significância dos riscos potenciais, a Avaliação de Risco necessita ser colocada numa perspectiva que permita visualizar, o nível do risco e sua significância dentro do contexto da avaliação, bem como, possibilitar a comparação entre diferentes contextos de desenvolvimento ou liberação das plantas GM. Para isso, os indicadores devem ser apresentados na Matriz de Avaliação com base nos índices estimados para cada indicador. Nessa matriz são mostrados os níveis de exigência ou cuidado para as ações preventivas/mitigatórias dos riscos decorrentes das atividades correlacionada à biossegurança.

Na matriz, as medidas estão agrupadas no seguinte nível crescente de exigências: i) sem restrição (faixa branca) – quando os perigos não

apresentam possibilidade de gerar riscos ambientais; ii) monitoramento (faixa verde) – quando os riscos identificados exigem apenas observações e acompanhamentos para evitar efeitos adversos; iii) manejo (faixa cinza claro) – para os casos em que medidas adicionais devem ser implementadas visando à prevenção dos riscos, bem como, a manutenção da eficiência da tecnologia; iv) restrições (faixa cinza escuro) – as atividades devem ser realizadas sob algumas regras ou normas mais restritivas, além de acompanhamento constante para evitar os potenciais impactos; v) não recomendado (faixa preta) – para os perigos que forem identificados com alto índice de risco e alta significância. Neste caso, medidas mitigatórias ou preventivas podem não ser eficazes contra tais riscos e por isto a tecnologia não é recomendada.

2.3. Adaptação metodológica para avaliação de risco das Nanotecnologias

O caráter inclusivo do Método / Software GMP-RAM permite que sua aplicação para outras tecnologias ou avaliações de modo geral, seja consideravelmente facilitada. Desse modo, para efeito da avaliação dos riscos das liberações ou aplicações das nanotecnologias o único ajuste da metodologia que se fez necessário foi a substituição dos indicadores de risco, citados nas planilhas da evidência de risco, anteriormente específicos para transgênicos, que neste estudo de caso, foram substituídos pelos indicadores referentes aos riscos das nanotecnologias. Todos os critérios de análise (ponderação dos indicadores por pesos, formulação dos índices, faixas de riscos, recomendações para gerenciamento do risco, etc) foram mantidos exatamente de acordo com a proposta da metodologia anteriormente citada.

3. Resultados e Discussão

A avaliação de risco de novas tecnologias é uma medida mitigatória para enfrentar os desafios cada vez maiores da degradação do meio ambiente, 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 riscos de novas tecnologias. Dessa maneira, este trabalho empregou o Método GMP-RAM tendo em vista avaliar a efetividade da sua utilização, com ajustes, para a avaliação de nanotecnologias de modo tão eficaz quanto para a avaliação de transgênicos (JESUS et al., 2006; JESUS-HITZCHKY et al., 2007).

O procedimento adotado neste trabalho visou suprir a demanda crescente por avaliações que possibilitem uma análise dedicada e integrada para as diversas dimensões onde os riscos podem ser percebidos, de modo a responder os questionamentos da sociedade de maneira geral.

A adequada formulação desta avaliação e sua apresentação para a comunidade científica, empresas usuárias de nanotecnologias e legisladores tende a apontar um direcionador para avaliar e gerenciar riscos da tecnologia em escala nanométrica. Isto será importante porque as nanotecnologias já se encontram disponíveis para o público consumidor, mesmo sem ter acontecido um contato prévio para uma liberação segura dos produtos e esclarecimento da população. O resultado obtido para casos específicos a partir do emprego do GMP-RAM permitirá à comunidade científica e a toda a sociedade, estimar o risco potencial desta tecnologia na dimensão ambiental, ética/social, econômica e os seus consequentes impactos.

3.1. Indicadores de Riscos Potenciais

A seguir, são apresentados os resultados da fase inicial do trabalho no que diz respeito ao levantamento dos indicadores de risco, a partir da consulta à literatura especializada. O levantamento foi realizado conforme uma análise criteriosa da literatura científica, relatórios governamentais e institucionais. As informações obtidas foram organizadas no formato de indicadores de risco e suas respectivas justificativas para uma futura ponderação dos dados.

3.1.1. Dimensões Ambiental e de Saúde

Indicador: Monitoramento da destinação de resíduos provenientes de laboratórios e/ou indústrias de nanocompostos, visando à qualidade ambiental (solo, água, flora, microbiota e fauna)

Justificativa: Os riscos relacionados aos resíduos na nanoescala são multidimensionais, já que esses riscos e a resposta a eles interagem

sócio, político, tecnológico e ambientalmente. A disposição inadequada de nanoresíduos pode fazer com que estes atinjam as rotas de exposição humana, da fauna e flora através de acumulação no solo e água utilizada para abastecimento. Também já é sabido que esses materiais podem entrar na cadeia alimentar, afetando todos os seus níveis tróficos, incluindo seres humanos (SUTCLIFFE; HODGSON, 2006).

Já MANTOVANI e colaboradores (2009) citam a importância de levar em conta as propriedades bactericidas de certas nanopartículas (como as de prata). Essa propriedade pode reduzir a eficiência de tratamentos biológicos em etapas convencionais de estações de tratamento de água. MUSEE (2011) afirma que, devido a essas propriedades únicas, cada resíduo em nanoescala pode exigir uma abordagem única de gerenciamento de efluentes para diminuir seus possíveis riscos ambientais.

Segundo MARTÍNEZ-CASTAÑÓN e colaboradores (2008), o atual mecanismo bactericida das nanopartículas de prata ainda não é totalmente conhecido. Alguns pesquisadores apoiam a ideia que produtos que contenham prata liberam íons de Ag^+ e estes acabam por interagir com grupos tiol de proteínas das bactérias, afetando a replicação do DNA, bloqueando as vias enzimáticas respiratórias (WONG et al., 2007), entre outros possíveis mecanismos de ação. Esses resíduos deveriam ser registrados como pesticidas, pois eles possuem o propósito de matar agentes microbianos, como sugere a USEPA (*U.S. Environmental Protection Agency*), segundo BREGGIN e PENDERGRASS, 2007. Adicionalmente, SEIJNDERS (2006) alerta para o efeito persistente dessas nanopartículas bactericidas, segundo este autor o potencial emprego das bactérias para biorremediação no tratamento de esgoto e ecossistemas degradados por si só, já é um motivo de preocupação para a sociedade.

Os principais desafios e lacunas - falta de caracterização das moléculas/compostos, falta de estrutura regulatória, quantificação em amostras biológicas, adaptação de métodos para estudos toxicológicos, etc. - do conhecimento em ecotoxicologia de nanopartículas e nanomateriais, bem como rotas de exposição, são tratados por HANDY et al. (2008) e PASCHOALINO et al. (2010).

Indicador: *Correlação dos testes in vitro contra modelos in vivo em diversos cenários de exposição à nanocompostos*

Justificativa: A preocupação de estudar modelos experimentais in vivo e in vitro que possam avaliar quantitativa e qualitativamente os efeitos de produtos se dá no sentido de obterem-se formulações cada vez mais seguras para a população consumidora (CRUZ, 2003). Além de fornecer subsídios que facilitam o controle de produtos disponíveis no mercado, a utilização desses testes colabora de forma significativa para a segurança e ações de saúde pública. OHNO e colaboradores (1999) concluíram em seus estudos, que não é indicado um único método para avaliar todos os tipos de substâncias, no caso as nanoestruturadas. Isso é dado visto que a validação dos testes in vitro é dada por sua correlação estatística contra os modelos de testes in vivo e a somatória desses dois testes prediz melhor o potencial de toxicidade de certo produto ou substância.

Há trabalhos recentes que recomendam o uso de testes in vitro após a sua validação devido a necessidade de redução do uso de animais em testes laboratoriais por questões éticas. Historicamente, o modelo animal é o mais utilizado para a avaliação de toxicidade de uma substância. Entretanto, a utilização de animais na pesquisa tem sido razão de diversas discussões em função do grande número necessário e do sofrimento causado, principalmente em relação aos estudos de toxicidade aguda.

Existe uma tendência mundial para reavaliar a utilização de animais nos experimentos, concretizada a partir de um programa denominado de 3Rs (Reduction, Refinement, Replacement), que objetiva, além de diminuir o número de animais, minimizar a dor e o desconforto e buscar alternativas para a substituição dos testes in vivo. Diversas metodologias alternativas já foram implantadas, sendo este um processo complexo que abrange desde o seu desenvolvimento até sua aceitação regulatória e adoção por diversas organizações (CAZARIN et al., 2004).

Indicador: *Avaliação do ciclo de vida do produto nanorrelacionado*

Justificativa: Avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta para avaliar as consequências de um produto ou sua atividade como um todo durante toda sua vida. Segundo VIGON e colaboradores (1993) os

estágios do ciclo de vida envolvem a extração e processamento de matérias-primas; manufatura, transporte e distribuição; uso, reuso, manutenção; reciclagem e compostagem; e disposição final. Esses componentes se baseiam no desenvolvimento de uma completa avaliação de ciclo de vida, que é composta por análise de inventário, análise de impacto e análise de aperfeiçoamento.

Os mesmos autores acrescentam ainda que a melhoria desse tipo de análise garante que todas as estratégias sejam otimizadas para que os produtos não produzam efeitos adversos na saúde humana e no meio ambiente. Segundo a Iniciativa Nacional para Nanotecnologia (NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE, 2009), quando os nanomateriais são incorporados nos mais diversos produtos, o potencial de exposição para o meio ambiente se torna crítico no final do ciclo de vida do produto, seja durante a reciclagem ou pela disposição inadequada. Estudos envolvendo a avaliação do ciclo de vida de produtos que contenham nanomateriais podem ser úteis para identificar oportunidades de gerenciamento de risco através da: seleção de materiais, design do produto, processo de engenharia de manufatura ou reciclando com a finalidade de reduzir riscos potenciais ou efeitos adversos em todos os estágios de vida de produtos nanorrelacionados (NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE, 2009).

Indicador: *Informações específicas sobre absorção, distribuição, eliminação ou mecanismos de ação tóxica de substâncias que contenham nanotecnologias (que futuramente poderão ser expressos na forma de modelos da Relação Quantitativa de Estrutura-Atividade para produtos nanotecnológicos)*

Justificativa: Em química, o termo “relação estrutura-atividade” compreende o estudo dos efeitos que a estrutura química de um composto (ligante) pode causar durante sua interação com o receptor biológico e, conseqüentemente, racionalizar os principais fatores que governam esta interação. Uma vez que as interações de um composto com seu receptor biológico são determinadas por forças intermoleculares, substâncias ao interagirem com um alvo específico (uma enzima, um receptor, um canal de íons, etc.), devem possuir uma estrutura tridimensional de forma que as disposições de seus grupos funcionais favoreçam uma maior complementaridade ao sítio de ligação. Assim, para descrever os tipos de interações entre um ligante e o seu receptor biológico

pode-se utilizar um extenso conjunto de propriedades moleculares, uma vez que estas propriedades estão diretamente relacionadas às forças intermoleculares envolvidas na interação ligante-receptor. Conseqüentemente, os descritores moleculares representam uma importante ferramenta para prever as propriedades das substâncias, classificar estruturas químicas ou procurar similaridades entre elas.

Diferentes descritores foram introduzidos nos últimos anos, e o número continua crescendo, pois se acredita que com esse aumento, importantes problemas em estudos sobre as relações estrutura-atividade (SAR) seriam solucionados. Estudos das relações quantitativas entre a estrutura química e a atividade biológica (QSAR), ou entre a estrutura química e algum tipo de propriedade físico-química (QSPR), são de grande importância na química e bioquímica modernas.

Quanto aos nanocompostos, CATTANEO e colaboradores (2010) afirmam a importância dos modelos. PUZYNE e colaboradores (2009) ressaltam que há um número muito limitado deles e que ainda há um longo caminho a percorrer nesses estudos. Produtos que utilizam nanotecnologia que possuam essas relações definidas irão ajudar na aceitação e segurança dos mesmos.

Indicador: *Avaliação de segurança para agroquímicos de nanoescala*

Justificativa: As grandes empresas do ramo de agrotóxicos em nanoescala afirmam que a vantagem da “nanoformulação” seria a facilidade dessas substâncias, com composição nanotecnológica, diluírem-se em água, aumentando sua estabilidade, e também potencializando algumas características como seu potencial herbicida, inseticida ou fungicida (A INVASÃO..., 2004). Dependendo das características do produto e do meio em que foi liberado, essas substâncias podem se misturar de modo complexo na água de forma que não se precipitem ou decantem no tanque (A INVASÃO..., 2004).

Alguns dos produtos com atividade fungicida da Syngenta Crop Protection Ltda., como Primo MAXX e Banner MAXX não se separam da água por um período de até um ano, enquanto fungicidas contendo ingredientes com partículas maiores geralmente devem ser agitados a cada duas horas para evitar aplicação incorreta e entupimento do tanque. De acordo com a Syngenta (2009), ele é absorvido sistemicamente pela planta e, dessa forma, não pode ser

arrastado por águas pluviais ou de irrigação.

** O objetivo da metodologia GMP-RAM é elucidar os riscos associados à tecnologia em questão. Tendo em vista permitir a sua aplicação de modo mais amplo, esta possibilita a inserção de indicadores pelo avaliador. Sem a possibilidade de prever o grau de detalhamento deste, a metodologia foi formulada como uma proposta mais geral e com considerável flexibilidade para que o usuário tenha liberdade de acrescentar indicadores mais pontuais ou gerais, sem com isto causar qualquer tipo de distorção na sua avaliação.*

Indicador: *Exposição de organismos não-alvo da biota de ambientes terrestre e aquático onde foram aplicados os agroquímicos em nanoescala*

Justificativa: As aplicações de agroquímicos visando os controles de pragas resultam no uso de grandes quantidades de produtos químicos. Estes, além de elevar os custos de produção, podem contaminar o meio ambiente, interferir na dinâmica de inimigos naturais, levar à ressurgência de pragas, causar surtos de pragas secundárias e também promover a evolução da resistência de insetos aos diferentes grupos químicos (FORTUNATO et al., 2007). Os agroquímicos em nanoescala prometem, em sua nanoformulação, uma melhor dissolução na água, mais estabilidade e otimização da capacidade de matar (herbicida, inseticida ou fungicida) (A INVASÃO..., 2004). Em sistemas agrícolas, insetos-alvos são aqueles capazes de desenvolverem populações que reduzem sensivelmente a produção das culturas, exigindo medidas de controle (DEGRANDE, 1998). Já os insetos não-alvos são considerados espécies que não são objetivo da intervenção de controle. Algumas espécies não-alvo são ocasionais ou tem importância aparente, mas muitas têm uma função valiosa no sistema, atuando como decompositores, polinizadores, predadores e parasitoides (PRASIFKA et al., 2005). Como o uso de organismos geneticamente modificados (OGMs) promoveu um grande questionamento quanto à sua utilização, alguns questionamentos também têm sido feitos em função da ausência de dados relacionados aos efeitos da nanotecnologia na entomofauna não-alvo, que em muitos casos podem ser afetados pela sucção de seiva, deformação de plantas e redução da produtividade; e,

indiretamente, produzindo meios para o desenvolvimento da fumagina e transmissão de viroses (FORTUNATO et al., 2007).

Indicador: *Modificação nos processos e nas dinâmicas dos sistemas ecológicos por estresse ambiental devido à presença de nanopartículas (a necessidade de estabelecer um recorte e/ou detalhamento para este indicador deve ser definida pelo avaliador em função das informações disponíveis para avaliá-lo, do mesmo modo indicadores mais amplos ou macro devem também ser assim avaliados)*

Justificativa: Todo sistema ecológico se adaptou a um complexo de fatores ambientais ao longo de sua evolução. Porém, alterações dos fatores ambientais sob influência de estressores antrópicos podem, com o tempo, afetar a estabilidade dos sistemas (LIMA, 2001). A liberação de nanopartículas no meio ambiente pode causar estresses fisiológicos, danos visíveis aos organismos e modificar as condições favoráveis à reprodução. Segundo LIMA (2001) concentrações relativamente baixas de estressores (como as nanopartículas) “podem ter efeito nocivo ao vegetal do ponto de vista agrônomo, sem que, necessariamente, apareçam danos visíveis ou aos quais possam ser associados prejuízos econômicos”.

Indicador: *Inibição da germinação da semente devido à fitotoxicidade das nanopartículas*

Justificativa: As plantas precisam ser incluídas em análises que visam o desenvolvimento de um perfil de toxicidade global das nanopartículas. LIN e XING (2007) estudaram os efeitos de cinco tipos de nanopartículas (nanotubos de carbono, alumínio, alumina, zinco e óxido de zinco) na germinação de seis espécies de sementes de plantas superiores (rabanete, mostarda, azevém, alface, milho e pepino). Eles descobriram que a germinação das sementes não foi afetada, exceto para sementes de azevém quando eram incubadas com zinco em nanoescala e em sementes de milho com óxido de zinco em nanoescala, ambas em concentrações de 2000 mg/L. Visto que essas duas espécies são importantes para a base alimentícia de gado e seres humanos, a fitotoxicidade das nanopartículas é uma área que requer mais estudos e cuidados para o manejo do solo. Porém, recentemente KHODAKOVSKAYA e colaboradores (2009) relataram que os

nanotubos de carbono podem ter efeitos benéficos na agricultura. Eles teriam descoberto que os nanotubos podem penetrar nas raízes de tomateiros (desde a germinação) e aumentar a absorção de água para o melhor desenvolvimento da planta. As sementes de tomate germinaram duas vezes mais rápido, ganharam mais peso do que o controle sem nanotubos de carbono e acabam sendo uma promessa para o futuro da 'nanoagricultura'. Apesar de não haver indícios claros da veracidade do efeito da adição de nanotubos de carbono no plantio de tomates, os pesquisadores estão apostando na melhoria da produtividade das plantas para a alimentação, combustível e outros usos.

Indicador: *Inibição do crescimento da raiz devido à fitotoxicidade das nanopartículas*

Justificativa: LIN e XING (2007) estudaram os efeitos de cinco tipos de nanopartículas (nanotubos de carbono, alumínio, alumina, zinco e óxido de zinco) no crescimento de raízes de seis espécies de plantas superiores (rabanete, mostarda, azevém, alface, milho e pepino). Foi observado que as inibições no crescimento radicular variaram de forma significativa entre as nanopartículas e plantas. Soluções de 2000 mg/L de nanopartículas de zinco e óxido de zinco praticamente cessaram o alongamento radicular de todas espécies vegetais testadas. As concentrações inibitórias de cinquenta por cento do crescimento, para as nanopartículas de zinco e óxido de zinco, foram estimadas aproximadamente em 50 mg/L para o rabanete e cerca de 20 mg/L para a mostarda e azevém (LIN; XING, 2007).

3.1.2. *Dimensões Social, Ética e Institucional*

Indicador: *Ações específicas de comunicação em nanociências*

Justificativa: As ações específicas de comunicação promovem a socialização de conceitos e da ciência de modo geral. Um dos exemplos de sucesso na área de comunicação é o projeto NanoAventura desenvolvido por uma equipe de pesquisadores da Unicamp e do Laboratório Nacional de Luz Síncroton (LNLS), em parceria com o Instituto Sangari. Ele foi criado com o propósito de trabalhar de forma lúdica e interativa o mundo da nanociência e da nanotecnologia, por meio do uso de diversas mídias, como jogos de nanocircuitos. Esse projeto em comunicação já incluiu diversos estudantes dos ensinos

fundamental e médio no “nanomundo”. A NanoAventura ganhou o prêmio de Melhor Projeto de Popularização da Ciência e da Tecnologia da América Latina e Caribe, durante a 11ª Reunião da Red-Pop, realizada em Montevidéu, no Uruguai, entre os dias 26 e 29 de maio de 2009 (NANOAVENTURA, 2009). Outro exemplo de sucesso em comunicação é o programa Nanotecnologia do Avesso, promovido pela Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (RENANOSOMA, 2009). Este programa tem por objetivo discutir assuntos pertinentes à nanotecnologia e contribuir para a informação e sensibilização em relação à complexidade dos impactos sócio-econômicos e ambientais desencadeados com o surgimento da nanotecnologia, e sua inserção nas sociedades modernas, e, portanto, na vida cotidiana da população (IIEP, 2009). Há uma outra forma de atingir o público através da comunicação. Uma narrativa discorre sobre uma série de acontecimentos através de uma linguagem acessível e de imagens. Neste sentido, a narrativa pode se tornar uma importante ferramenta de comunicação pública para aceitação ou rejeição de uma nova tecnologia se associada a uma avaliação de risco. FINUCANE e SATTERFIELD (2005 apud STEBBING, 2009) defendem que a força particular das ‘cartilhas’ é sua capacidade de simplificar a informação, já que podem capturar valores expressos através de imagens e linguagens, e frequentemente podem conter indicativos para uma direção de política construtiva e respostas que possam incorporar esses valores. A informação vinda da comunidade científica, de veículos de comunicação em mídia, livros e boletins informativos relacionados com nanociências pode modelar a percepção pública sobre riscos/benefícios de nanotecnologias propostas, bem como assuntos sobre moralidade, religião, progresso científico e meio ambiente (VANDERMOERE et al., 2010). Um exemplo de sucesso de socialização da linguagem científica em nanociência é a história em quadrinho “Nanotecnologia: o transporte para um novo universo” (PINTO; VIEIRA, 2008) desenvolvido pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO - órgão ligado ao Ministério do Trabalho e Emprego). Esta história em quadrinho é destinada ao público trabalhador, conta com apoio do Observatório de Quadrinhos da Escola de Comunicações e Artes da USP, da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (RENANOSOMA), do Departamento Intersindical de Estudos e Pesquisas de Saúde e dos Ambientes de Trabalho (DIESAT) e do Departamento Intersindical de

Estatísticas e Estudos Socioeconômicos (DIEESE), entre outros. A European Commission (2010) lançou um documento importante em 2010 que trata exatamente de ações específicas de comunicação em nanociência. Um dos exemplos interessantes é o projeto NANO TV, que tem por objetivo fornecer uma visão equilibrada das vantagens e dos riscos potenciais da nanotecnologia através de histórias. Adicionalmente, as ações de comunicação e percepção de risco também devem receber uma atenção especial de tomadores de decisão, visto que existe um grande público que possui pouco ou nenhum conhecimento sobre as tecnologias em nanoescala (SIMONS et al., 2009).

Indicador: *Taxa de emprego/desemprego em matrizes operacionais relacionadas às nanotecnologias*

Justificativa: Números relativos à oferta de emprego nessa esfera tecnológica podem gerar um grande impacto na economia e no comércio. Isto é importante, pois essas novas matrizes operacionais criarão novos ramos na produção industrial. A nanotecnologia implicará em uma revolução nos modos de vida e de trabalho que trarão consequências imprevisíveis nos próximos anos. Entre outros grupos, a UITA (União Internacional de Trabalhadores da Alimentação, Agrícolas, Hotéis, Restaurantes, Tabaco e Afins) se posiciona com preocupação sobre o assunto (UITA, 2009). Neste cenário é possível identificar que as nanotecnologias trarão um profundo impacto sobre as classes trabalhadoras. Por um lado, porque a multiplicação de funções que os produtos das nanotecnologias passam a realizar modifica significativamente a força de trabalho necessária, tanto no interior do processo produtivo, como também na manipulação, armazenamento, transporte e comercialização de antigos produtos que desaparecem do mercado (FOLADORI; INVERNIZZI, 2007). Por outro lado, porque ao estarem menos dependentes das contingências ambientais e dos recursos naturais, possibilita uma mudança na localização geográfica das indústrias, com o conseqüente deslocamento da força de trabalho e respectiva migração (FOLADORI; INVERNIZZI, 2007). FOLADORI e INVERNIZZI (2007) ainda complementam dizendo que “é de grande importância que as organizações de trabalhadores, como fez a UITA, exijam dos organismos internacionais que assumam as tarefas de avaliação de riscos, de planificação de atividades compensatórias dos

impactos econômicos e sociais e de regulamentação internacional do processo de desenvolvimento das nanotecnologias”.

Indicador: Aplicação de propriedades inovadoras para uso militar (relacionadas à nanomateriais)

Justificativa: A Biotecnologia, bem como a Nanotecnologia, “vem assumindo um papel crescente dentro do planejamento estratégico das grandes potências, como um elemento cada vez mais central para um novo tipo de armas de destruição em massa e um paradigma para o planejamento de defesa das nações e de proteção das suas populações nacionais” (ALMEIDA, 2006). ALMEIDA (2006) consolidou uma hipótese de que na década de 80 houve uma confluência biotécnica com acentuado interesse político-militar pelo desenvolvimento biotecnológico de ponta, sendo que este interesse deu início a um deslocamento da ciência da Biologia para o centro do planejamento estratégico, através da potencialização das armas biológicas. Do mesmo modo, como toda tecnologia de ponta, a Nanotecnologia pode também ser empregada para fins militares. Ela aponta perspectivas para a construção de armas cada vez mais sofisticadas a nível nanométrico. SILVA (2003) diz que “a partir de setembro de 2001, um novo elemento contribuiu com o interesse da aplicação dessa tecnologia nesse mercado: a questão da defesa dos Estados Unidos” devido ao atentado terrorista. A Nanotecnologia substituiu a corrida espacial e a corrida nuclear armamentista com a motivação para grandes investimentos públicos em Ciência e Tecnologia.

Indicador: Taxa de sindicalização e associativismo na área de nanotecnologia (fator decisivo para a estruturação do mercado de trabalho nanotecnológico e formulação de políticas públicas relacionadas)

Justificativa: A combatividade sindical dos trabalhadores é um dos fatores decisivos para a estruturação do mercado de trabalho e, portanto, é um indicador importante do grau de organização política da sociedade e de sua capacidade de pressionar pela redistribuição dos lucros do desenvolvimento econômico e tecnológico (JANNUZZI, 2001). Segundo JANNUZZI (2001), recentemente tem se enfatizado a importância de novos arranjos associativos na sociedade civil na

promoção do desenvolvimento econômico e social. Dessa forma, a taxa de sindicalização e o grau de associativismo civil seriam formas de dimensionar o Capital Social disponível. No que tange a área de nanotecnologia, segundo o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE), se a introdução das nanotecnologias não for acompanhada de medidas que requalifiquem os trabalhadores, gerem novas oportunidades de emprego e repassem os ganhos de produtividades aos trabalhadores, poderá reproduzir, ou até piorar, as situações de desigualdade tão presentes no mercado de trabalho brasileiro. Ainda segundo o DIEESE, negociações coletivas devem incluir cláusulas sobre o direito à informação da introdução da nanotecnologia e de suas aplicações no ambiente de trabalho, na proteção ambiental e na saúde dos trabalhadores, apontando a responsabilidade das empresas na prevenção sobre impactos dessas nanotecnologias nos trabalhadores, além de prever processos de requalificações. A Central Única dos Trabalhadores (2009) afirma que a empresa deve informar aos membros da CIPA e ao Sindicato sobre a introdução de materiais nanoestruturados em seus processos produtivos, disponibilizando informação sobre os possíveis riscos à saúde dos trabalhadores e as medidas de proteção adotadas. Também é necessário incluir nos Acordos Coletivos de Trabalho a responsabilização dos empregadores pelas consequências à saúde do trabalhador e ao meio ambiente por conta da introdução de nanopartículas e de processos nanoestruturantes, dada a inexistência de estudos sobre estes impactos e de legislação específica regulatória (DIEESE, 2009).

3.1.3. Dimensões Econômica e Política

Indicador: *Investimento em estudos de impacto das nanotecnologias*

Justificativa: Os recursos para pesquisas sobre os impactos da nanotecnologia são escassos, bem como os estudos nesta área. A falta de avaliação dessas tecnologias pode expor a sociedade a problemas éticos, socioambientais e de saúde. Os recursos para os estudos de impacto no Brasil estão aquém do necessário porque não há verba destinada para esta finalidade (NANOTECNOLOGIA..., 2006).

Indicador: *Balço de pagamentos tecnológicos nas áreas relacionadas à nanotecnologia (fluxos financeiros de capital estrangeiro – royalties e licenças)*

Justificativa: O propósito do balanço de pagamentos, segundo Viotti (2003), é registrar todas as transações intangíveis relacionadas ao comércio de conhecimentos técnicos e de serviços com conteúdo tecnológico entre diferentes países. As seguintes operações devem ser incluídas no balanço: patentes (compra ou venda) (DELGADO, 2010); licenças para uso de patentes; know-how (não patentado); modelos e desenhos industriais; marcas (inclusive franquias); serviços técnicos e o financiamento de P&D industrial no exterior (VIOTTI, 2003). A importação de nanotecnologias possui dois lados: constitui-se em uma fonte de recursos aos países e aos inventores que investem em inovações; também pode impedir a capacidade de desenvolvimento tecnológico de países importadores, além de redirecionar gastos de títulos de royalties (CARRERA, 2009). DELGADO (2010) acrescenta que ainda é importante considerar custos e fundos de pesquisa dos setores públicos e privados e, ainda, os valores de mercado.

Indicador: *Existência de legislações governamentais e/ou de órgãos institucionais específicos para avaliar a segurança dos produtos nanorelacionados*

Justificativa: SCHULTZ e BARCLAY (2009) defendem que o Estado deve delegar autoridade para órgãos governamentais para realizar uma revisão sistemática de todos os produtos no mercado que contenham nanopartículas, ou que utilizam estruturas manipuladas em nível atômico para montar e concretizar legislações e padronizações específicas. Dessa forma, a questão do risco e segurança dos produtos que contenham partículas nanométricas deveria envolver questões jurídicas, regulação, orientações éticas, códigos (como o de Defesa do Consumidor) e responsabilidade corporativa (DELGADO, 2010).

3.1.4. Dimensões de Ciência, Tecnologia e Inovação

Indicador: *Bibliometria/Webometria associada à área nanotecnológica*

Justificativa: Existem diversas formas de medição voltadas para avaliar a ciência e os fluxos da informação. Dentre estas, cabe citar a bibliometria, e a mais nova delas, a webometria (VANTI, 2002). Esses registros de informações se baseiam no número de publicações científicas, citações e co-citações (VIOTTI, 2003), seja por registros de jornais ou pela World Wide Web. VANTI (2002)

afirma que esses tipos de avaliações, “dentro de um determinado ramo do conhecimento, permitem dignificar o saber quando métodos confiáveis e sistemáticos são utilizados para mostrar à sociedade como tal saber vem-se desenvolvendo e de que forma tem contribuído para resolver os problemas que se apresentam dentro de sua área de abrangência”. A mesma autora cita ainda que a “idéia de que a avaliação da produtividade científica, por exemplo, deve ser um dos elementos principais para o estabelecimento e acompanhamento de uma política nacional de ensino e pesquisa, uma vez que permite um diagnóstico das reais potencialidades de determinados grupos e/ou instituições”. Na área de nanotecnologia, este indicador é importante para a contabilidade do crescimento do conhecimento nesta área nas universidades e países.

3.2. GMP-RAM – Justificativas para o Caso das Nanotecnologias

3.2.1. Dimensões Ambiental e de Saúde

(p) Quanto aos Resíduos provenientes de indústria e/ou laboratórios de nanocompostos – visto que já existem relatos científicos sobre a toxicidade potencial das nanopartículas no meio ambiente, a magnitude de efeito adverso desse indicador é média (2). Somando essas informações ao atual mercado comercial das nanotecnologias e centros de pesquisas já existentes, a probabilidade de ocorrência de um efeito adverso causado pelas nanotecnologias também é média (2). Como ainda não foram relatados danos específicos no meio ambiente, o índice de risco deste indicador apresentou valor 4, ou seja, é um risco baixo. Se houver liberação desses resíduos no meio ambiente, a extensão do risco pode ir além dos limites do ponto de contaminação devido à grande mobilidade das nanopartículas. Devido a esse fato, foi atribuído o valor máximo para a extensão do risco (4). Porém, com o conhecimento tecnológico existente para remediação, essa exposição poderia ser revertida com o manejo simples das nanotecnologias (2). Essas informações geraram um índice de significância igual a 8. Através da Matriz de Avaliação sugerida pelo Método, esse indicador necessita de monitoramento contínuo.

(q) Quanto à Presença/existência/comparação dos testes in vitro e in vivo em diversos cenários de exposição à nanocompostos –

foi atribuído valor médio (2) para a magnitude do risco devido às informações e estudos médicos existentes. Já para a probabilidade de ocorrência do efeito adverso, foi atribuído o valor máximo (4) por existirem estudos in vivo e in vitro que comprovam alguns efeitos nocivos dos nanocompostos em diversos cenários e rotas de exposição: seres humanos, ecossistemas e ar (construídos em laboratório). Essas informações levam a um índice de risco alto (16), de extensão pontual (1) e, portanto, resultaram em um índice de significância baixo (4). Através da Matriz de Avaliação do Método, esse indicador requer manejo, entenda-se, primeiramente, um conjunto de intervenções nos sistemas de avaliação toxicológicos. Dentre elas podem ser citados o desenvolvimento e validação de testes in vitro (no médio prazo) ou o desenvolvimento de métodos alternativos - sem o uso de animais - cujo resultado final pode sinalizar a necessidade de estudos mais aprofundados, reduzindo o custo inicial da avaliação.

(r) Quanto à Avaliação do ciclo de vida do produto nanorelacionado – o índice de risco gerado para este indicador apresentou valor igual a 2, ou seja, apresenta um risco insignificante. Isso ocorreu por este indicador estar relacionado basicamente com uma ferramenta de análise de risco. Já o índice de significância (8) é médio, visto que a não existência desse tipo de ferramenta para cada tipo de produto nanorelacionado, pode fazer com que os impactos potenciais dos mesmos se estendam além dos limites de uso/liberação. WARDAK e colaboradores (2008) exemplificam de forma objetiva como pode ocorrer a identificação dos riscos através da análise do ciclo de vida de produtos que contenham nanopartículas. A Matriz de Avaliação do Método sugere que esse indicador requer monitoramento, ou seja, utilização maior dessa ferramenta para produtos que contenham nanotecnologia.

(s) Quanto às Informações específicas sobre absorção, distribuição, eliminação ou mecanismos de ação tóxica de substâncias que contenham nanotecnologias – as vias de interação química e física de uma substância tóxica com receptores biológicos de seres vivos e/ou no ambiente estão intimamente relacionadas com sua estrutura química. Por isso, a ausência de metodologias que permitam monitorar esses efeitos levou a intensidade do risco ser classificada como média (2), bem como a probabilidade do efeito adverso da carência desse

tipo de informação (2). Dessa forma, o índice de risco desse indicador é médio (4). O índice de significância para este caso foi insignificante (2). A Matriz de Avaliação não aponta nenhuma restrição para este indicador de impacto.

(t) Quanto à Avaliação de segurança para agroquímicos de nanoescala - foi atribuído valor médio (2) para a magnitude do risco devido às informações de empresas de agroquímicos em nanoescala (como a Syngenta). Já para a probabilidade de ocorrência do efeito adverso, foi atribuído o valor máximo (4) por existirem culturas experimentais utilizando esse tipo agrotóxico. Mesmo assim, ainda não há relato e estudos para confirmar os efeitos adversos desse tipo de manipulação na nanoescala. Isso gerou um índice de risco médio (8). A extensão desse tipo de risco é grande, já que o agroquímico em nanoescala pode atingir o lençol freático, bem como outras áreas dos ecossistemas (4). Devido à grande estabilidade química desse tipo de produto, quando o risco for constatado, ele poderá ser reversível com alto investimento financeiro e com a utilização de métodos não convencionais (4). O índice de significância resultante foi alto (16). Através da Matriz de Avaliação do Método, esse indicador requer restrições.

(u) Quanto à Exposição de organismos não-alvo da biota de ambientes terrestres e aquáticos onde foram aplicados os agroquímicos em nanoescala - algumas espécies não-alvo são ocasionais ou tem importância aparente, mas muitas têm uma função valiosa no sistema (PRASIFKA et al., 2005). Devido a esse conhecimento, foram atribuídos os valores máximos (4) para a magnitude do risco e à exposição ao dano. Ainda não há relatos sobre a verificação desse tipo de efeito adverso na literatura. O índice de risco para este indicador apresentou um valor igual a 16, ou seja, é um risco alto. Já o índice de significância foi médio (8), devido ao tipo de manejo que precisa ser adotado (complexo – 4) para o caso de ocorrerem danos em organismos não-alvo. A Matriz de Avaliação, neste caso, sugere restrições.

(v) Quanto à Modificação nos processos e nas dinâmicas dos sistemas ecológicos por estresse ambiental devido à presença nanopartículas - o índice de risco gerado para este indicador apresentou

valor igual a 8, ou seja, apresenta um risco médio. Isso ocorreu devido a magnitude do risco ter recebido o valor máximo (4) em função dos grandes danos que os sistemas ecológicos podem sofrer com a presença de nanopartículas. A probabilidade de efeitos adversos ocorrerem é média (4), já que existem poucos relatos confirmando a presença de nanopartículas em sistemas ecológicos. Ao mesmo tempo, não há precedentes de danos causados nos mesmos. Este indicador descreve um risco que pode ir além dos limites do ponto de contaminação/liberação da tecnologia (4) e pode requerer manejos complexos e altos investimentos financeiros. Dessa forma, o índice de significância (16) é alto. A Matriz de Avaliação do Método sugere que esse indicador requer restrições.

(x) e (y) Quanto à Inibição da germinação da semente devido à fitotoxicidade das nanopartículas e a Inibição do crescimento da raiz devido à fitotoxicidade das nanopartículas - visto que já existem relatos científicos sobre a potencial toxicidade das nanopartículas sobre a germinação de sementes e sobre o crescimento de raízes, a magnitude de efeito adverso desse indicador é alta (4). A probabilidade de ocorrência de um efeito adverso causado pelas nanotecnologias é média (2). Como ainda não foram relatados danos específicos no meio ambiente, o índice de risco deste indicador apresentou valor 8, ou seja, é um risco médio. Se houver liberação desses resíduos no meio ambiente, a extensão do risco pode ir além dos limites do ponto de contaminação devido à grande mobilidade das nanopartículas. Devido a esse fato, foi atribuído o valor máximo para a extensão (4). Essa exposição requer um manejo complexo, com alto investimento financeiro e utilização de métodos não convencionais de remediação (4). Somado ao fato desses indicadores estarem relacionados também à alimentação o índice de significância gerado foi alto (16). Através da Matriz de Avaliação sugerida pelo Método, esses indicadores necessitam de restrições.

3.2.2. Dimensões Social, Ética e Institucional

(p) Quanto às Ações específicas de comunicação em nanociências – foi atribuído valor médio (2) para a magnitude do risco devido aos fatores adversos que a falta de comunicação em nanociência pode causar à população em geral. Baseado em informações existentes nessa área (item 3.1.2), a probabilidade de ocorrência de risco é baixa

(1). Dessa forma, o índice de risco foi considerado baixo (4). Como a transição de informação em nanociência ultrapassa os limites do seu ponto de origem (via Internet, livros, etc.) (4) e a incipiência neste setor pode ser revertida com manejo simples (2), o índice de significância para este indicador foi médio (8). Segundo a Matriz de Avaliação do Método, a comunicação específica em 'nano' requer monitoramento.

(q) Quanto às Taxas de emprego/desemprego em matrizes operacionais relacionadas às nanotecnologias – a nanotecnologia certamente implicará em uma mudança nas matrizes operacionais de mão-de-obra. Como isso pode significar aumento das taxas de emprego/desemprego, a intensidade do efeito adverso foi considerada média (2), bem como a probabilidade de ocorrência de mudanças nas estruturas do setor empregatício (2). Ainda não há relatos significativos de modificação quanto à qualificação de mão-de-obra e, por isso, o índice de risco para este indicador foi considerado baixo (4). Por outro lado, o índice de significância resultou em um valor alto (16), visto que modificações em matrizes operacionais em tecnologia básica pode se estender à maioria das grandes empresas/indústrias que absorvem mão-de-obra (4). A reversibilidade de um cenário crítico, no que tange à força trabalho, ocorrerá com alto investimento em formação acadêmica, técnica, treinamentos, entre outros (4). Através da Matriz de Avaliação gerada pelo GMP-RAM, esse indicador requer manejo.

(r) Quanto à Aplicação de propriedades inovadoras para uso militar (relacionadas à nanomateriais) – foi atribuído valor alto (4) para a magnitude de efeito adverso devido ao grande potencial para uso bélico das nanotecnologias. Preza-se que a probabilidade de alguma aplicação militar com nanotecnologia seja média (2), já que esta já é utilizada para fins pacíficos e médicos em campos de batalha. Ainda não há precedentes negativos relatados e, por isso, o índice de risco foi médio (8). Já em relação à extensão dos resultados que este fator de risco pode causar, foi atribuído o valor máximo (4). Uma possível exposição bélica irá requerer a utilização de métodos de manejo não convencionais e de alto custo (4). Essas informações geraram um índice de significância alto (16). Adicionalmente, a Matriz de Avaliação sugere que este indicador necessita de restrições.

(s) Quanto à Taxa de sindicalização e associativismo na área de nanotecnologia (fator decisivo para a estruturação do mercado de trabalho nanotecnológico e formulação de políticas públicas relacionadas) – visto que já existem mobilizações trabalhistas em assuntos relacionados à nanotecnologia (item 3.1.2), foram atribuídos valores médios (2) para a magnitude e para a probabilidade de efeitos adversos ocorrerem. Isso resultou em um índice de risco baixo (4). Já o índice de significância para este indicador foi alto (16) devido à abrangência da sindicalização em meio aos trabalhadores (4) e ao alto investimento financeiro e de tempo para resolver possíveis problemas nesse setor do mercado de trabalho (4). A Matriz de Avaliação do Método sugere que este indicador necessita de manejo.

3.2.3. Dimensões Econômica e Política

(p) Quanto ao Investimento em estudos de impacto das nanotecnologias – a magnitude do efeito adverso atingiu o valor máximo (4), visto que a falta de estudos de impacto desta nova tecnologia pode expor a sociedade a problemas éticos, socioambientais e de saúde, como já discutido no item 3.1.3. Baseado nas informações existentes, a probabilidade de ocorrência de efeitos adversos da falta de investimento em estudos de impacto é média (2). Com a comparação feita entre os organismos geneticamente modificados e a nanotecnologia (Tabela 1), pode-se considerar a inserção das nanotecnologias semelhante à dos OGMs na sociedade (2). Com isso, o índice de risco deste indicador é alto (16). Visto que os efeitos adversos da falta de estudos de impacto podem atingir grande parte da sociedade (4) e que este cenário só pode ser modificado com altos investimentos tecnológicos (4), o índice de significância atingiu um valor médio (8). Na Matriz de Avaliação pode-se ver que este indicador requer restrições.

(q) Quanto ao Balanço de pagamentos tecnológicos nas áreas relacionadas à nanotecnologia (fluxos financeiros de capital estrangeiro – royalties e licenças) – na dimensão econômica, o balanço de pagamentos tecnológicos é importante devido à movimentação de capital. Neste contexto, a magnitude e a probabilidade de efeitos adversos ocorrerem foram consideradas de intensidade média (2). Como o fluxo de capital em nanotecnologia tem muito potencial de crescimento, o índice de risco deste indicador foi baixo (4). Mas

como os royalties e licenças podem atingir grande parte do mercado financeiro (4), as consequências do uso ou não dessas ferramentas pode implicar em altos investimentos governamentais e empresariais (4), o índice de significância resultou em um valor alto (16). Segundo a Matriz de Avaliação, este indicador requer manejo, como a adoção de investimentos em tecnologia nacional.

(r) Quanto à Existência de legislações governamentais e/ou de órgãos institucionais específicos para avaliar a segurança dos produtos nanorelacionados – a falta de legislações específicas para questões nanotecnológicas podem causar efeitos adversos de magnitude média em uma sociedade (2), com uma probabilidade de ocorrência também média (2). Seguindo o Princípio da Precaução, entidades europeias e norte-americanas já conseguiram que leis fossem aprovadas para programas nacionais, uso e segurança da nanotecnologia (2) (ESTADOS UNIDOS, 2002, 2003a, 2003b). O índice de risco para esse indicador foi médio (8). Tanto a extensão do possível risco como sua reversibilidade atingiram valor (2). Isso gerou um índice de significância baixo (4). A Matriz de Avaliação indica que a questão legislativa em nanotecnologia requer monitoramento.

3.2.4. Dimensões de Ciência, Tecnologia e Inovação

(p) Quanto à Bibliometria/Webometria associada à área nanotecnológica – foi atribuído valor médio (2) à magnitude do risco associado à bibliometria por este ser um indicador que é proporcional às pesquisas relacionadas com novos materiais e àquelas voltadas para estudos de impacto. A probabilidade de algum risco adverso decorrente dessa quantificação ocorrer é alta (4), já que um índice baixo de bibliometria/webometria em determinada área, pode significar falta de informações importantes para o relacionamento da sociedade e da comunidade científica com determinada tecnologia (Precedente - 2). O índice de risco nesse cenário, portanto, foi alto (16). Já o índice de significância foi médio (8). A Matriz de Avaliação para este indicador sugere restrições; restrições estas que poderiam ser vistas, por exemplo, como investimentos em P&D.

3.2.5. Planilha de Evidência do Risco - Dimensões Ambiental e de Saúde

Tabela 2. Planilha de Evidência de Risco: para compilação de riscos potenciais nas Dimensões Ambiental e de Saúde

Riscos Potenciais	Critério para Avaliação	Dados/Informação para Avaliação	Fatores de Ponderação			Índice de Risco	Fatores de Ponderação		Índice de Significância
			Dano	Exposição	Precedente		Extensão	Reversibilidade	
(p)* Resíduos provenientes de indústrias e/ou laboratórios de nanocompostos	Monitoramento do solo, água, flora, microbiota e fauna visando à qualidade ambiental	A disposição inadequada de nanoresíduos pode fazer com que estes atinjam as rotas de exposição humana, da fauna e flora através de acumulação no solo e água utilizada para abastecimento.	2	2	1	4	4	2	8
(q) Exposição à nanocompostos em diversos cenários	Validação dos testes <i>in vitro</i> contra modelos <i>in vivo</i>	A validação desses testes deve ser vista como uma etapa essencial no desenvolvimento e aceitação de um produto	2	4	2	16	1	4	4
(r) Efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente	Avaliação do ciclo de vida do produto nanorelacionado e testes ecotoxicológicos	Avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta para avaliar as consequências de um produto ou sua atividade como um todo durante toda sua vida	2	1	1	2	4	2	8
(s) Vias de interação química de materiais nanoestruturados em receptores biológicos	Informações específicas sobre absorção, distribuição, eliminação ou mecanismos de ação tóxica de substâncias que contenham nanotecnologias	A rota que uma nanopartícula percorre pode ser relacionada com a sua estrutura química molecular, como dos modelos QSARs que possuem alto grau de previsão da toxicidade e podem ajudar na aceitação e segurança dos produtos nanorelacionados	2	2	1	4	2	1	2
(t) Utilização de agroquímicos em nanoescala	Avaliação de segurança para agroquímicos de nanoescala	A diluição ou precipitação do composto na água irá ocasionar diferentes efeitos na dependência da análise em questão	2	4	1	8	4	4	16
(u) Exposição de organismos não-alvo em culturas que utilizam nanagroquímicos	Estudos biológicos com entomofauna não-alvo	Algumas espécies não-alvo são ocasionais ou tem importância aparente, mas muitas têm uma função valiosa no sistema, atuando como decompositores, polinizadores, predadores e parasitoides	4	4	1	16	2	4	8
(v) Modificação nos processos e nas dinâmicas dos sistemas ecológicos por estresse ambiental devido à presença de nanopartículas	Avaliação caso a caso dos componentes de um sistema ecológico	A liberação de nanopartículas no meio ambiente pode causar estresses fisiológicos, danos visíveis a organismos e modificar as condições favoráveis à reprodução	4	2	1	8	4	4	16
(x) Inibição da germinação da semente devido à fitotoxicidade das nanopartículas	Análises pedológicas e químicas de solos e sementes	Já existem bases científicas que relataram o efeito tóxico de algumas nanopartículas em sementes importantes para a base alimentícia	4	2	1	8	4	4	16
(y) Inibição do crescimento da raiz devido à fitotoxicidade das nanopartículas	Análises pedológicas e químicas de solos e de raízes	Já existem bases científicas que relataram tanto o efeito inibitório de algumas nanopartículas no crescimento de raízes, bem como na melhoria da produtividade de certas espécies	4	2	1	8	4	4	16

*O software GMP-RAM disponibiliza o preenchimento de novos riscos potenciais no Método a partir da letra (p).

3.2.6. Planilha de Evidência do Risco - Dimensões Social, Ética e Institucional

Tabela 3. Planilha de Evidência de Risco: para compilação de riscos potenciais nas Dimensões Social, Ética e Institucional

Riscos Potenciais	Critério para Avaliação	Dados/Informação para Avaliação	Fatores de Ponderação			Índice de Risco	Fatores de Ponderação		Índice de Significância
			Dano	Exposição	Precedente		Extensão	Reversibilidade	
(p)* Falta de informações em questões pertinentes à nanotecnologia	Número de ações específicas de comunicação em nanociências	As ações específicas de comunicação servem para socializar conceitos e a ciência em que as nanociências estão embasadas	2	1	2	4	4	2	8
(q) Mudança de matrizes operacionais	Taxas de emprego/desemprego em matrizes operacionais relacionadas às nanotecnologias	Números relativos à oferta de emprego nessa esfera tecnológica podem gerar um grande impacto na economia e no comércio. Isto é importante, pois essas novas matrizes operacionais criam novos ramos na produção industrial. A nanotecnologia implicará em uma revolução nos modos de vida e de trabalho que trarão consequências imprevisíveis nos próximos anos.	2	2	1	4	4	4	16
(r) Utilização de nanotecnologias para fins bélicos	Número de propriedades inovadoras para uso militar (relacionadas à nanomateriais)	A nanotecnologia aponta perspectivas para a construção de armas cada vez mais sofisticadas a nível molecular. A Nanotecnologia substituiu a corrida espacial e a corrida nuclear armamentista como a motivação para grandes investimentos públicos em Ciência e Tecnologia. O desafio é a detecção de ameaças químicas, biológicas, nucleares, a prevenção de atentados urbanos e civis.	4	2	1	8	4	4	16
(s) Desorganização política e econômica da sociedade trabalhista	Taxa de sindicalização e associativismo na área de nanotecnologia	Segundo o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE), se a introdução das nanotecnologias não for acompanhada de medidas que requalifiquem os trabalhadores, gerem novas oportunidades de emprego e repassem os ganhos de produtividade aos trabalhadores, poderá reproduzir, ou até piorar, as situações de desigualdade tão presentes no mercado de trabalho brasileiro.	2	2	1	4	4	4	16

* O Software GMP-RAM disponibiliza o preenchimento de novos riscos potenciais no Método a partir da letra (p).

3.2.7. Planilha de Evidência do Risco - Dimensões Econômica e Política

Tabela 4. Planilha de Evidência de Risco: para compilação de riscos potenciais nas Dimensões Econômica e Política

Riscos Potenciais	Critério para Avaliação	Dados/Informação para Avaliação	Fatores de Ponderação			Índice de Risco	Fatores de Ponderação		Índice de Significância
			Dano	Exposição	Precedente		Extensão	Reversibilidade	
(p)* Falta de Avaliação de Risco e Impactos Potenciais das nanotecnologias	Investimento em estudos de impacto das nanotecnologias	A falta de avaliação dessas tecnologias pode expor a sociedade brasileira a problemas éticos, socioambientais e de saúde. Os recursos para os estudos de impacto no Brasil estão aquém do necessário porque não há verba destinada para esta finalidade (NANOTECNOLOGIA....., 2006).	4	2	2	16	4	4	8
(q) Fluxos financeiros de capital estrangeiro - royalties e licenças	Balanco de Pagamentos Tecnológicos nas áreas relacionadas à nanotecnologia	A importação de nanotecnologias possui dois lados: constitui-se em formidável fonte de recursos aos países e aos inventores que investem em inovações; também pode impedir a capacidade de desenvolvimento tecnológico de países importadores, além de redirecionar gastos em nível de títulos de royalties	2	2	1	4	4	4	16
(r) Existência de legislação para questões de padronização e qualidade dos produtos	Existência de legislações existentes para produtos nanorelacionados e nanotecnologia em geral	O Estado deve delegar autoridade para Órgãos específicos para realizar uma revisão sistemática de todos os produtos no mercado que contenham nanopartículas ou que utilizam estruturas manipuladas em nível atômico para montar e concretizar legislações e padronizações para esses produtos.	2	2	2	8	2	2	4

* O Software GMP-RAM disponibiliza o preenchimento de novos riscos potenciais no Método a partir da letra p.

3.2.8. Planilha de Evidência do Risco - Dimensões de Ciência, Tecnologia e Inovação

Tabela 5. Planilha de Evidência de Risco: para compilação de riscos potenciais nas Dimensões de Ciência, Tecnologia e Inovação

Riscos Potenciais	Critério para Avaliação	Dados/Informação para Avaliação	Fatores de Ponderação			Índice de Risco	Fatores de Ponderação		Índice de Significância
			Dano	Exposição	Precedente		Extensão	Reversibilidade	
(p)* Baixo índice de informações, dados e estudos de impacto e risco de materiais nanorelacionados	Bibliometria/Webometria associada à área nanotecnológica	A bibliometria/Webometria é extremamente útil para a análise do sistema científico como um todo e de suas instituições. Na área de nanotecnologia, este indicador é importante para a contabilidade do crescimento do conhecimento nas universidades e países.	2	4	2	16	4	4	8

* O Software GMP-RAM disponibiliza o preenchimento de novos riscos potenciais no Método a partir da letra (p).

3.3. Matriz de Avaliação

As Matrizes de Avaliação para as dimensões estudadas neste trabalho são apresentadas a seguir. Elas possibilitam a visualização correlacionada do risco de cada indicador apresentado.

3.3.1. Dimensões Ambiental e de Saúde

		ÍNDICE DE RISCO			
		1-3 MUITO BAIXO	4-7 BAIXO	8-15 MÉDIO	16-32 ALTO
ÍNDICE DE SIGNIFICÂNCIA	1-3 MUITO BAIXO		s		
	4-7 BAIXO				q
	8-15 MÉDIO	r	p		u
	16-32 ALTO			tvxy	

LEGENDA

- SEM RESTRIÇÕES
- REQUER MONITORAMENTO
- REQUER MANEJO
- REQUER RESTRIÇÕES
- NÃO RECOMENDADO

Figura 4. Matriz para Avaliação do Risco: Dimensões Ambiental e de Saúde.

3.3.2. Dimensões Social, Ética e Institucional

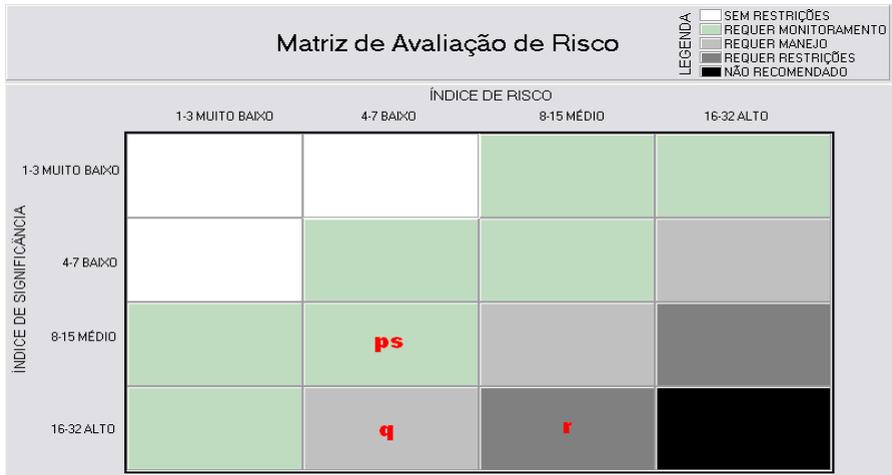


Figura 5. Matriz para Avaliação do Risco: Dimensões Social, Ética e Institucional.

3.3.3. Dimensões Econômica e Política

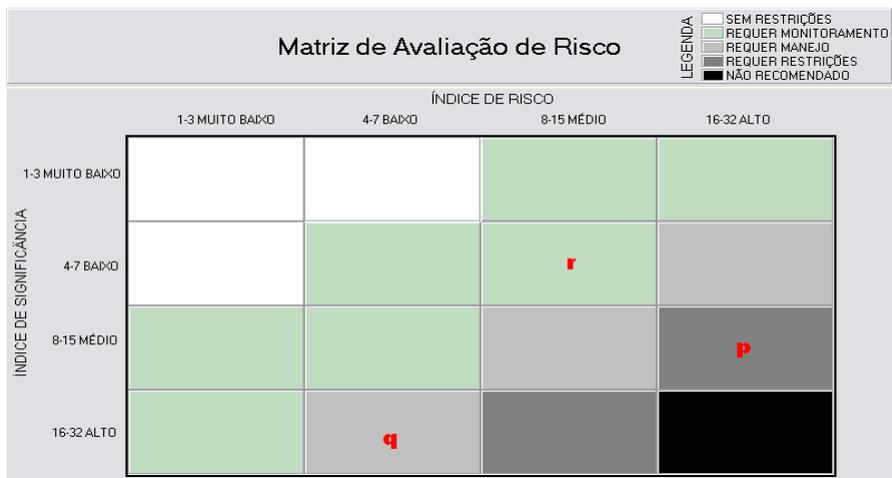


Figura 6. Matriz para Avaliação do Risco: Dimensões Econômica e Política.

3.3.4. Dimensões de Ciência, Tecnologia e Inovação



Figura 7. Matriz para Avaliação do Risco: Dimensões de Ciência, Tecnologia e Inovação.

3.4. Gerenciamento de Risco das Nanotecnologias

Segundo FIGUEIREDO e MIRANDA (2011), o gerenciamento de risco é um processo de decisão sobre as opções de gerenciamento, o qual deve contemplar incertezas, consequências ambientais, econômicas e sociais, viabilidade técnica, política e econômica, entre outros fatores.

Neste sentido, em uma primeira abordagem, os índices de risco e significância gerados pela Avaliação de Risco das Nanotecnologias (Método GMP-RAM) foram transformados em gráficos para a análise visual da oscilação do risco dessas novas tecnologias.

Com essa visão geral do risco e da extensão e reversibilidade de aspectos ligados à nanotecnologia, pode-se afirmar que as nanotecnologias não oferecem riscos significativos para a sociedade em geral. Porém, essa afirmação pode ser contrária se estudarmos o risco caso a caso. Por isso, o gerenciamento de risco que será proposto mais adiante, será dividido segundo as esferas de estudo sugeridas desde o início deste trabalho.

3.4.1. Gerenciamento de Risco: Dimensões Ambiental e de Saúde

Risco Potencial: Resíduos provenientes de indústrias e/ou laboratórios de nanocompostos

Atualmente já existem vários produtos disponíveis no mercado contendo nanopartículas de prata. Eles vão desde urso de pelúcia à máquina de lavar roupa. Como não é mais possível, neste caso, impedir a liberação desse tipo de nanopartícula no ambiente, bem como as de dióxido de titânio (TiO₂) presentes em cosméticos, é necessário gerenciar agora os impactos que estão ocorrendo e/ou se acumulando no meio ambiente.

Já é sabido que a prata em nanoescala além de liberar espécies reativas de oxigênio, também mata bactérias benígnas que são utilizadas em estações de tratamento para a remoção da amônia. Possivelmente, elas possuem um efeito adverso também sobre outras espécies de bactérias que são essenciais à qualidade ambiental e ao bom funcionamento do corpo humano.

Dessa forma, tecnologias ambientais teriam que ser revisadas ou reformuladas para que as nanopartículas de prata (e outras espécies tóxicas como as de óxido de zinco – ZnO) possam ser melhor gerenciadas, tanto em estações de tratamento como no meio ambiente, universidades e indústrias.

Portanto, de acordo com a Matriz de Avaliação gerada pelo método de avaliação, o gerenciamento de risco proposto seria o monitoramento da qualidade ambiental. Para atender o resultado da metodologia, recomenda-se, juntamente com uma nova arquitetura e engenharia, voltadas para a funcionalidade de estações de tratamento de água e esgoto, processos industriais e métodos de manejo e a formação de profissionais qualificados para trabalhar com monitoramento e mitigação de impactos negativos na escala nano. A proposta de uma Política Pública para rejeitos com nanopartículas seria um grande avanço do cenário de gerenciamento de risco das

nanotecnologias. Esta deverá abranger pontos como logística reversa, responsabilidade compartilhada e acondicionamento de rejeitos/resíduos nanorelacionados.

Risco Potencial: Exposição à nanocompostos em diversos cenários

Esse risco potencial está intimamente ligado a questões de Saúde Pública. A avaliação da exposição às nanopartículas se dá através da validação de produtos com nanotecnologia através de testes in vivo e in vitro. Eles são essenciais para a obtenção segura de 'nanoformulações' de cosméticos, suplementos alimentares, entre outros. O gerenciamento de risco sugerido aqui seria a formulação de políticas públicas voltadas para a segurança e saúde pública, como, por exemplo, realização e divulgação de testes de pré-mercado para produtos com nanotecnologias.

Risco Potencial: Efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente

Este tipo de risco pode ser minimizado através do uso de Análise do Ciclo de Vida dos produtos que contenham nanotecnologia. Através desse tipo de análise seria possível organizar estratégias para que os produtos não causem impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública. Dessa forma, o gerenciamento de risco sugerido seria a criação de estímulos governamentais na forma de crédito e redução de impostos para empresas/indústrias que tornarem a análise do ciclo vida uma parte essencial de seu planejamento estratégico.

Risco Potencial: Via de interação química de materiais nanoestruturados em receptores biológicos de seres vivos

Esse risco também está ligado a questões de saúde pública por relatar, através de modelos matemáticos, o caminho preferencial de uma espécie de nanopartícula em seres vivos e no meio ambiente, bem como do seu grau de toxicidade. Por isso, **o gerenciamento de risco proposto seria estabelecer programas de financiamento de P&D para o levantamento de informações específicas sobre absorção,**

distribuição, eliminação ou mecanismos de ação tóxica de substâncias que contenham nanotecnologias, tendo em vista esclarecer quais são as vias de interação química e física de uma substância tóxica com receptores biológicos de seres vivos e/ou no ambiente estão intimamente relacionadas com sua estrutura química. Essas relações seriam úteis para diagnósticos médicos e ambientais, por exemplo.

Risco Potencial: Utilização de agroquímicos em nanoescala e Exposição de organismos não-alvo em culturas que utilizam nanoagroquímicos

A utilização e comercialização de agroquímicos em nanoescala envolvem grandes questões políticas e econômicas, bem como o acesso aos dados da cultura que utilizam essas formulações. Sendo assim, a interferência no uso e fiscalização desses nanoagroquímicos só será viável se for feita por órgãos ou entidades previstas em lei. Por isso, neste caso, **o gerenciamento de risco para a questão dos nanoagroquímicos seria a instituição de uma instância colegiada e multidisciplinar criada através de embasamento legislativo, com a finalidade de dar apoio técnico e assessoria ao Governo Federal em uma “Política Nacional para a Segurança das Nanotecnologias” e ser voltada exclusivamente para assuntos relacionados às Nanotecnologias.** Essa instância, como a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), também deverá estabelecer normas técnicas de segurança e pareceres técnicos referentes à proteção da saúde humana, organismos vivos e do meio ambiente, para assuntos que envolvam a nanofabricação, experimentação, produção, manipulação, transporte, comercialização, consumo, armazenamento, liberação e descarte de nanotecnologias e derivados.

Risco Potencial: Modificação nos processos e nas dinâmicas dos sistemas ecológicos por estresse ambiental devido à presença de nanopartículas

As nanopartículas possuem propriedades ainda desconhecidas quando estão livres no meio ambiente. Como citado no primeiro gerenciamento, certas nanopartículas podem afetar comunidades de bactérias benígnas

e, certamente, também poderão afetar a dinâmica de sistemas ecológicos por eventos de estresse. O desenvolvimento de estudos caso a caso para nanopartículas em laboratório (reproduzindo as condições ambientais de sistemas ecológicos), seria a sugestão do gerenciamento de risco. Porém, uma vez confirmada a existência de estresse ambiental por materiais nanoparticulados, uma nova proposta de remediação e engenharia teriam que ser elaboradas para cenários como este.

Risco Potencial: Inibição da germinação da semente e do crescimento da raiz devido à fitotoxicidade das nanopartículas

Estes riscos, segundo a Matriz de Avaliação do método GMP-RAM requerem restrições. Há grandes controvérsias científicas neste campo e, portanto, precisam ser melhor estudadas e comunicadas com transparência, pois alguns autores, como KHODAKOVSKAYA e colaboradores (2009) relataram o efeito benigno dos nanotubos de carbono no crescimento radicular e das sementes de tomates.

Frente a esses resultados, é necessário verificar se as nanopartículas ficam retidas no sistema radicular ou se movimentam até o fruto ou folhas das plantas do estudo. Sendo assim, **o gerenciamento de risco proposto também seria a criação de uma instância multidisciplinar colegiada voltada exclusivamente para assuntos que envolvem nanotecnologia, bem como a criação de portarias do Ministério da Agricultura e da Saúde para culturas que utilizem nanopartículas.**

3.4.2. Gerenciamento de Risco: Dimensões Social, Ética e Institucional

Risco Potencial: Exclusão do público nas questões pertinentes à nanotecnologia

Como discutido no item 3.1.2, é clara a importância do engajamento público em questões científicas, tecnológicas, comerciais e trabalhistas que envolvam nanotecnologia. A Matriz de Avaliação sugere que esse risco precisa ser monitorado e, como já existem várias ações específicas de comunicação em nanociências, **sugere-se aqui como**

gerenciamento do risco, a proposição de ações de comunicação mais efetivas em escolas de ensino infantil, fundamental e médio, em meio de comunicação e incentivos à pesquisa básica e avançada na área de nanotecnologia.

Risco Potencial: Mudança nas matrizes operacionais e desorganização política e econômica da sociedade trabalhista

Como o próprio GMP-RAM propôs, esses riscos requerem manejo e restrições, respectivamente, no sentido de incluir cada vez mais o trabalhador em assuntos inovadores e de risco de matérias nanoparticulados. Para este caso, **o gerenciamento de risco recomendado seria atuar em questões ligadas ao treinamento, quer seja acadêmico ou técnico e requalificação dos funcionários, e criação de departamentos de segurança do trabalhador voltados especificamente para prevenção de risco e acidentes com matrizes operacionais que utilizem nanotecnologia e seus produtos.**

Risco Potencial: Utilização de nanotecnologia para fins bélicos

Esse risco envolve diretamente o planejamento estratégico das grandes potências. Como o agravante político e confidencial é extremamente forte, não caberia outro gerenciamento de risco a não ser **a criação de um conselho das Nações Unidas para assuntos éticos e de segurança para as Nanotecnologias e seus produtos.**

3.4.3. Gerenciamento de Risco: Dimensões Política e Econômica

Risco Potencial: Ausência de dados sobre a Avaliação de Risco e Impactos Potenciais das nanotecnologias

A Matriz de Risco sugere que este indicador requer restrições no sentido de que o cenário atual precisa ser mudado. Já existem muitos produtos nanorelacionados no mercado, mas não há preocupação efetiva com os seus riscos e, portanto, não existem métodos validados para avaliação de risco. **O gerenciamento de risco recomendado seria**

a elaboração de metodologias específicas para nanotecnologias para cálculo do risco e seu gerenciamento.

Risco Potencial: Fluxos financeiros de capital estrangeiro – royalties e licenças

O risco potencial aqui seria impedir a capacidade de desenvolvimento tecnológico de países em desenvolvimento e aumentar os gastos do Balanço de Pagamentos Tecnológicos em nanotecnologia. Como o Brasil já possui um Programa de Ciência, Tecnologia e Informação para Nanotecnologia pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, **o gerenciamento proposto recomendado seria o manejo dos investimentos nacionais voltados para nanociência/nanotecnologia e as diversas áreas que ela abrange.**

Risco Potencial: Existência de legislação para questões nanotecnológicas

Países como os Estados Unidos e alguns outros da União Européia já possuem um embasamento legislativo para as nanotecnologias (LINKOV et al., 2009; GWINN; TRAN, 2010). Aqui no Brasil ainda não se tem conhecimento de nenhuma lei que seja dirigida para questões relacionadas a essa nova tecnologia. Para **o gerenciamento de risco, neste caso, seria necessário, primeiramente, existir informação específica da área de nanotecnologia. Dessa forma, haveria engajamento social e legal para a formulação de leis e contratação de mão-de-obra especializada para posterior fiscalização (etapa extremamente importante para o cumprimento da lei).** É claro que esse passo só será viável após avaliações de risco e impacto serem devidamente validadas.

3.4.4. Gerenciamento de Risco: Dimensões de Ciência, Tecnologia e Inovação

Risco Potencial: Baixo índice bibliométrico/webométrico de estudos voltados para materiais nanorelacionados e suas propriedades, bem como para estudos de impactos e riscos.

A pesquisa voltada para novos materiais, funcionalidades e construções atômicas é extremamente importante para o avanço tecnológico e melhoria da qualidade de vida da sociedade em geral. Mas essas pesquisas com materiais que possuem propriedades físico-químicas novas precisam ser acompanhadas por pesquisas de estudos de impacto e pela divulgação desses dados/informação. A bibliometria/webometria na área de nanotecnologia é incipiente quanto se trata de informações pertinentes a impactos e riscos. **O gerenciamento de risco proposto aqui seria maior investimento em nanociência e P&D.**

4. CONCLUSÃO

Juntamente com as primeiras ideias visionárias de nanotecnologia foram levantadas informações sobre seus possíveis impactos. Neste contexto, a análise de risco dessa nova tecnologia deve ser utilizada com o objetivo de prever a ocorrência de impactos negativos e possibilitar que medidas preventivas sejam tomadas com a finalidade de mitigar, ou mesmo evitar os efeitos decorrentes dos riscos identificados.

O método GMP-RAM – empregado neste trabalho - permite a inserção de variáveis que possibilitam uma avaliação menos subjetiva de indicadores, permitindo a quantificação do nível de risco com base em dados, informações científicas e sua utilização para estudos de caso de outras tecnologias. A apresentação dos resultados na “Matriz de Avaliação” permitiu que algumas medidas de manejo do risco para as nanotecnologias fossem também equacionadas, já que a matriz indicou pontualmente qual indicador necessitava de maior atenção e, em alguns casos, de maiores restrições.

No geral, as nanotecnologias não oferecem grandes riscos à sociedade, mas precisam ser estudadas caso a caso para a redução ou gerenciamento dos possíveis riscos iminentes ao seu uso e aplicação.

Futuramente os indicadores de risco discutidos neste trabalho

podem ser estudados e validados pela comunidade científica de maneira mais detalhada. Por enquanto, os resultados e orientações formuladas permitiram disponibilizar informações organizadas sobre a Avaliação Risco das nanotecnologias e seu gerenciamento, mas os desdobramentos dessas considerações poderão embasar as tomadas de decisão para o controle dos riscos no desenvolvimento da tecnologia em escala nano.

Este trabalho ainda evidenciou algumas estratégias necessárias para a gestão das nanotecnologias:

- Para obter dados mais relevantes e válidos, métodos de avaliação de risco devem ser criados, ajustados, validados e divulgados para o caso dos nanomateriais;
- Métodos internacionais devem ser desenvolvidos e validados para fabricação, caracterização, identificação dos riscos, avaliação do ciclo de vida e simulação em ambiente natural para materiais nanoengenheirados;
- Devem ser criadas bases de dados públicas para fins da avaliação da segurança das nanopartículas e para o embasamento de Políticas Públicas em Nanotecnologia para alavancar o desenvolvimento deste setor no País;
- Aprofundamento em estudos de impacto nas diversas esferas de estudo abordadas neste trabalho a fim de promover a inovação, competitividade, segurança e sustentabilidade das nanotecnologias;
- Proposição de um mecanismo de contato formal com a sociedade tendo em vista informar e acompanhar a opinião pública sobre as questões que envolvem a nanociência e a nanotecnologia;
- Elaboração de propostas para o monitoramento da dispersão de produtos à base de nanotecnologias no mercado consumidor;

- Maior coordenação e intercâmbio de informações entre os países que possuem uma política de Nanotecnologia.

Por fim, este trabalho constatou que a Metodologia de Avaliação de Risco de Plantas Geneticamente Modificadas (GMP-RAM) construída pela equipe da Embrapa Meio Ambiente e colaboradores (JESUS et al., 2006), com ajustes, pode ser uma ferramenta adequada e válida para avaliar também os riscos das nanotecnologias após sua validação e estudo de caso. Porém, metodologias mais específicas para a análise da tecnologia em questão, as quais apresentem a sugestão dos indicadores a serem avaliados, devem ser formuladas para que as análises e gerenciamento dos riscos potenciais sejam cada vez mais efetivos.

Referências

ALMEIDA, M. E. Guerra e desenvolvimento biológico: o caso da biotecnologia e da genômica na segunda metade do século XX. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 9, p. 264-282, 2006.

BELL, T. E. **Reporting risk assessment of nanotechnology: a reporter's guide to sources and research issues**. [S.l.]: National Nanotechnology Initiative, 2006. 8 p. Disponível em: <<http://umassk12.net/nano/2008summer/Gibson/Risks.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2009.

BREGGIN, L. K.; PENDERGRASS, J. **Where does the nano go? End-of-life regulation of nanotechnologies**. Washington, D.C.: Woodrow Wilson International center for Scholars, 2007. 58 p. Disponível em: <http://www.nanotechproject.org/file_download/files/NanoEnd-of-Life_Pen10.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2009.

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/cehindicsum.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2009.

BUSECK, P. R.; ADACHI, K. Nanoparticles in the atmosphere. **Elements**, Quebec, v. 4, p. 389-394, 2008.

CARRERA, L. L. **Royalties**: a questão do desenvolvimento autônomo nacional ante a importação de tecnologias. Disponível em: <<http://www.oab.org.br/oabeditora/users/revista/1242743166174218181901.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2009.

CATTANEO, A. G.; GORNATI, R.; SABBIONI, E.; CHIRIVA-INTERNATI, M.; COBOS, E.; JENKINS, M. R.; BERNARDINI, G. Nanotechnology and human health: risks and benefits. **Journal of Applied Toxicology**, Chichester, v. 30, p. 730-744, 2010.

CAZARIN, K. C. C.; CORRÊA, C. L.; ZAMBRONE, F. A. D. Redução, refinamento e substituição do uso de animais em estudos toxicológicos: uma abordagem atual. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 40, n. 3, 2004.

CRICHTON, M. **Presa**. Rio de Janeiro: Rocco, 2003. 469 p.

CRUZ, A. S. **Teste de citotoxicidade in vitro como alternativa ao teste in vivo de Draize na avaliação de produtos cosméticos**. 2003. 119 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

CENTRAL ÚNICA DOS TRABALHADORES. **CUT**: Central Única dos Trabalhadores. Disponível em: <<http://www.cut.org.br/>>. Acesso em: 10 set. 2009.

DEGRANDE, P. E. **Guia prático de controle das pragas do algodoeiro**. Dourados: UFMS, 1998. 60 p.

DELGADO, G. C. Economics and governance of nanomaterials: potential and risks. **Technology in Society**, New York, v. 32, p. 137-144, 2010.

DIEESE. **DIEESE**: Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. Disponível em: <<http://www.dieese.org.br/>>. Acesso em: 10 set. 2009.

DREXLER, E. K. **Engines of criations**. New York: Ancor Books, 1987. 320 p.

EFSA. Guidance document of the scientific panel on genetically modified organisms for the risk assessment of genetically modified plants and derived food and feed (Question n. EFSA-Q-2003-2005). **The EFSA Journal**, Parma, v. 99, p. 1-94, 2004.

ENERGY and nanotechnology: strategy for the future. Houston: James A. Baker III Institute for Public Policy, 2005. 20 p. (Baker Institute Study, n. 30). Disponível em <http://www.rice.edu/energy/publications/studies/study_30.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2009.

ESTADOS UNIDOS. Congresso. **21st Century Nanotechnology Research and Development Act, January 7, 2003a**. To authorize appropriations for nanoscience, nanoengineering, and nanotechnology research, and for other purposes. Disponível em: <<http://www.govtrack.us/data/us/bills.text/107/s/s2945rs.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2011.

ESTADOS UNIDOS. Congresso. **The Nanoscience and Nanotechnology Advisory Board, October 16, 2002**. To establish the Nanoscience and Nanotechnology Advisory

Board. Disponível em: <<http://www.govtrack.us/data/us/bills.text/107/h/h5669ih.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

ESTADOS UNIDOS. Congresso. **The Nanotechnology Research and Development Act de 13 de fevereiro de 2003b**. To provide for a National Nanotechnology Research and Development Program, and for other purposes. Disponível em: <<http://www.govtrack.us/data/us/bills.text/108/h/h766rfs.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

EUROPEAN COMMISSION. **Communicating Nanotechnology: why, to whom, saying what and how?** Luxembourg, 2010. 188 p. Disponível em: <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/communicating-nanotechnology_en.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2011.

FIGUEIREDO, A. V. A.; MIRANDA, M. S. Análise de risco aplicada aos alimentos no Brasil: perspectivas e desafios. **Ciência & Saúde Coletiva para a Sociedade**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p. 2251-2262, 2011.

FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. **Os trabalhadores da alimentação e da agricultura questionam as nanotecnologias**. Disponível em: <http://www.rel-uita.org/nanotecnologia/trabajadores_cuestionan_nano-fullpor.htm>. Acesso em: 2 set. 2009.

FORTUNATO, R. P.; THOMAZONI, D.; SORIA, M. F.; SILVIE, P. J.; DEGRANDE, P. E. Impacto do algodão Bt na população da espécie-não alvo *Aphis gossypii* (Glover, 1877) (Hemiptera: Aphididae) na região de Dourados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 6., 2007, Uberlândia, MG. **Resumos...** Uberlândia, 2007. p. 58.

FUNDACENTRO. **Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho**. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/>>. Acesso em: 10 set. 2009.

GABRIELSEN, P.; BOSCH, P. **Environmental indicators: typology and use in reporting**. Copenhagen: European Environment Agency. 2003. 20 p.

GEISER, M.; KREYLING, W. G. Deposition and biokinetics of inhaled nanoparticles. **Particle and Fibre Toxicology**, London, v. 7, p. 1-17, 2010.

GLENN, M. L.; BOYCE, J. S. Nanotechnology: considering the complex ethical, legal, and societal issues with the parameters of human performance. **Nanoethics**, Dordrecht, v. 2, p. 265-275, 2008.

GWINN, M. R.; TRAN, L. Risk management of nanomaterials. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology**, New York, v. 2, p. 130-137, 2010.

HANDY, R. D.; OWEN, R.; VALSAMI-JONES, E. The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: current status, knowledge gaps, challenges, and future needs. **Ecotoxicology**, London, v. 17, p. 315-332, 2008.

IIEP. **Intercâmbio, Informações, Estudos e Pesquisas**. Disponível em: <<http://www.iiep.org.br/>>. Acesso em: 9 set. 2009.

A INVASÃO invisível do campo: o impacto das nanotecnologias na alimentação e na agricultura. 2004. Otawwa: Etc Group, 2004. 61 p. Disponível em: <<http://www.etcgroup.org/upload/publication/531/02/invasaoformateada.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2009.

JANNUZZI, P. M. **Indicadores sociais no Brasil**: conceitos, fontes de dados e aplicações. Campinas: Editora Alínea. 2001. 141 p.

JESUS-HITZSCHKY, K. R. E.; CREMONEZI, S. M. N.; LIMA, D. U. **Método GMP-RAM para avaliação de riscos ambientais de plantas geneticamente modificadas (PGM)**: estudo de caso do mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 60 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 45). Disponível em: < http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim_45.pdf > . Acesso em: 5 abr. 2009.

JESUS, K. R. E.; LANNA, A. C.; VIEIRA, F. D.; ABREU, A. L.; LIMA, D. U. A proposed risk assessment method for genetically modified plants. **Applied Biosafety**, Mundelein, v. 11, p. 127-137, 2006.

KARN, B.; AGUAR, P. **Nanotechnology and life cycle assessment**: project on emerging Nanotechnologies. Washington, D.C.: Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2007. Disponível em: < http://www.nanotechproject.org/file_download/files/NanoLCA_3.07.pdf > . Acesso em: 7 mai. 2009.

KHODAKOVSKAYA, M.; DERVISHI, E.; MAHMOOD, M.; XU, Y.; LI, Z.; WATANABE, F.; BIRIS, A. S. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. **ACS Nano**, Washington, D.C., v. 3, p. 3221–3227, 2009.

LAM, C-W.; JAMES, J. T.; McCLUSKEY, R.; HUNTER, R. Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation. **Toxicology Science**, Oxford, v. 77, p. 126-134, 2004.

LARESEA, F. F.; D'AGOSTIN, F.; CROSERAB, M.; ADAMIB, G.; RENZIC, N.; BOVENZIA, M.; MAINAD, G. Human skin penetration of silver nanoparticles through intact and damaged skin. **Toxicology**, Amsterdam, v. 255, p. 33-37, 2009.

LIMA, J. S. Processos biológicos e o biomonitoramento. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. (Org.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001. 285 p.

LIN, D.; XING, B. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. **Environmental Pollution**, Essex, v. 150, p. 243-250, 2007.

LINKOV, I.; SATTERTROM, F. K.; MONICA JUNIOR., J. C.; HANSEN, S. F.; DAVIS, T. A. Nano risk governance: current developments and future perspectives. **Nanotechnology Law & Business**, Berkeley, v. 6, p. 203-220, 2009.

LINSTER, M. **OECD work on environmental indicators**. 2003. Disponível em: < <http://www.oecd.org/dataoecd/11/56/34564152.pdf> >. Acesso em: 27 abr. 2009.

MANTOVANI, E.; PORCARI, A.; MEILI, C.; WIDMER, M. **Mapping study on regulation and governance of nanotechnologies**, [S.l.]: Framingnano Project, 2009. 138 p.

MARTÍNEZ-CASTAÑÓN, G. A.; NIÑO-MARTÍNEZ, N.; MARTÍNEZ-GUTIERREZ, F.; MARTÍNEZ-MENDOZA, J. R. Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles with different sizes. **Journal of Nanoparticle Research**, Dordrecht, v. 10, p. 1343–1348, 2008.

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

MEHTA, M. Regulating biotechnology and nanotechnology in Canada: a post-normal science approach for inclusion of the fourth helix. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIETY, Singapore, 2002. **Lessons and challenges**. Singapore: National University of Singapore, 2002.

MEILI, C. **Nano-regulation: multi-stakeholder-dialogue-approach towards a sustainable regulatory framework for nanotechnologies and nanosciences.** St.Gallen: The innovation Society, 2006. 43 p. Disponível em: <<http://www.innovationsgesellschaft.ch/images/publikationen/nanoReport.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2009.

MUSEE, N. Nanowastes and the environment: potential new waste management paradigm. **Environment International**, Oxford, v. 37, p. 112-128, 2011.

MOOS, P. J.; CHUNG, K.; WOESSNER, D.; HONEGGAR, M.; CUTLER, N. S.; VERANTH, J. M. Veranth ZnO particulate matter requires cell contact for toxicity in human colon cancer cells. **Chemical Research in Toxicology**, Washington, D.C., v. 23, p. 733-739, 2010.

NAÇÕES UNIDAS. **Handbook of input-output table compilation and analysis.** New York: Statistics Division, 1999. 266 p.

NANOAVENTURA: no menor dos mundos, sua maior experiência. Disponível em: <<http://www.mc.unicamp.br/nanoaventura/>>. Acesso em: 4 set. 2009.

NANOTECNOLOGIA: Brasil vive deslumbre e não avalia impactos. 2006. Disponível em: <http://www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/article.php3?id_article=354>. Acesso em: 4 jul. 2009.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Committee on Environmental Impacts Associated with Commercialization of Transgenic Plants, Board on Agriculture and Natural Resources. **Environmental effects of transgenic plants: the scope and adequacy of regulation.** Washington, D.C., 2006. 342 p.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. **The National Nanotechnology Initiative.** Disponível em: <<http://www.nano.gov/>>. Acesso em: 23 mar. 2009.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. **Nanoscale Science and Engineering Center for Direct Assembly of Nanostructures**. Disponível em: <http://www.rpi.edu/dept/nsec/00_00-home.html>. Acesso em: 25 abr. 2009.

OHNO, Y.; KANEKO, T.; INOUE, T.; MORIKAWA, Y.; YOSHIDA, T.; FUJII, A.; MASUDA, M.; OHNO, T.; HAYASHI, M.; MOMMA, J.; UCHIYAMA, T.; CHIBA, K.; IKEDA, N.; IMANISHI, Y.; ITAKAGAKI, H.; KAKISHIMA, H.; KASAI, Y.; KURISHITA, A.; KOJIMA, H.; MATSUKAWA, K.; NAKAMURA, T.; OHKOSHI, K.; OKUMURA, H.; SAIJO, K.; SAKAMOTO, K.; SUZUKI, T.; TAKANO, K.; TATSUMI, H.; TANI, N.; USAMI, M.; WATANABE, R. Interlaboratory validation of the in vitro eye irritation tests for cosmetic ingredients. (1) Overview of the validation study and Draize scores for the evaluation of the tests. **Toxicology In Vitro**, Oxford, v. 13, p. 73-98, 1999.

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.

OECD. **Towards sustainable development: environmental indicators**. Paris, 2001. 156 p.

PASCHOALINO, M. P.; MARCONE, G. P. S.; JARDIM, W. F. Os nanomateriais e a questão ambiental. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, p. 421-430, 2010.

PINTO, A. C.; VIEIRA, A. G. **Nanotecnologia: o transporte para um novo universo**. 2008. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/ARQUIVOS/PUBLICACAO/1/HQ1_nanotecnologia.pdf> Acesso em: 2 nov. 2009.

PRASIFKA, J. R.; HELLMICH, R. L.; DIVELY, G. P.; LEWIS, L. C. Assessing the effects of pest management on nontarget arthropods: the influence of plot size and isolation. **Environmental Entomology**, College Park, v. 34, p. 1181-1192, 2005.

PUZYN, T.; LESZCZYNSKA, D.; LESZCZYNSKI, J. Toward the development of "nano-qsars": advances and challenges. **Small. Nano Micro**, Weinheim, v. 5, n. 22, p. 2494-2509, 2009.

REIJNDERS, L. Cleaner nanotechnology and hazard reduction of manufactured nanoparticles. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 14, p. 124-133, 2006.

RENANOSOMA. **Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://nanotecnologiaoavesso.org/>>. Acesso em: 8 set. 2009.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária**: Ambitec-Agro. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003a. 93 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 34). Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_34.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2009.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. An environmental impact assessment system for agricultural R&D. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 23, p. 219-244, 2003b.

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

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

SARGENT, J. F. **Nanotechnology**: a policy primer. Washington, D.C.: Congressional Research Service, 2008. 15 p.

SCENIHR. **Risk assessment of products of nanotechnologies**. [S.l.]: European Commission, 2009. 71 p.

SCHULTZ, W. B.; BARCLAY, L. **A hard pill to swallow**: barriers to effective FDA regulation of nanotechnology-based dietary supplements. Washington, D.C.: PEN, 2009.

SILVA, C. G. Uma introdução à nanotecnologia. **Cadernos de Estudos Avançados**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 14, 2003.

SIMONS, J.; VIERBOOM, C.; HÄRLEN, I.; HERTEL, R.; BÖL, G-F. The slings and arrows of communication on nanotechnology. **Journal of Nanoparticle Research**, Dordrecht, v. 11, p. 1555-1571, 2009.

STEBBING, M. Avoiding the trust deficit: public engagement, values, the precautionary principle and the future of nanotechnology. **Journal of Bioethical Inquiry**, Dunedin, v. 6, p. 37-48, 2009.

SUTCLIFFE, H.; HODGSON, S. **An uncertain business**: the technical, social and commercial challenges presented by nanotechnology. London: Acona, 2006. 22 p.

SYNGENTA. **Banner Maxx**. Disponível em: <<http://www.syngentaprofessionalproducts.com/prodrender/index.aspx?nav=TANKMIX&ProdID=740&ProdNM=Banner%20MAXX#>>. Acesso em: 25 mai. 2009.

SYNGENTA. **Primo Maxx**. Disponível em: <<http://www.syngentaprofessionalproducts.com/prodrender/index.aspx?prodid=747>>. Acesso em: 25 mai. 2009.

UITA. **União Internacional de Trabalhadores da Alimentação, Agrícolas, Hotéis, Restaurantes, Tabaco e Afins**. Disponível em: <<http://www.iuf.org/www/en/>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

VANDERMOERE, F.; BLANCHEMANCHE, S.; BIEBERSTEIN, A.; MARETTE, S.; ROOSEN, J. The morality of attitudes toward nanotechnology: about God, techno-scientific progress, and interfering with nature. **Journal of Nanoparticle Research**, Dordrecht, v. 12, p. 373-381, 2010.

VANTI, N. A. P. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da Informação**, Brasília, DF, v. 31, p. 152-162, 2002.

VIGON, B. W.; TOLLE, D. A.; CORNABY, B. W.; LATHAM, H.C.; HARRISON, C. L.; BOGUSKI, T. L.; HUNT, R. G.; SELLERS, J. D. **Life-cycle assessment: inventory guidelines and principles**. Ohio: U.S. Environmental Protection Agency, 1993. 128 p.

VIOTTI, E. B.; MACEDO, M. M. **Indicadores de ciência, tecnologia e inovação no Brasil**. Campinas. Editora UNICAMP, 2003. 614 p.

WARDAK, A.; GORMAN, M. E.; SWAMI, N.; DESHPANDE, S. Identification of risks in the life cycle of nanotechnology-based products. **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, v. 12, p. 435-448, 2008.

WONG, K. K. Y.; TIAN, J.; HO, C.-M.; LOK, C.-N.; YU, W.-Y.; CHE, C.-M.; CHIU, J.-F.; TAM, P. K. H. Topical delivery of silver nanoparticles promotes wound healing. **ChemMedChem**, Weinheim, v. 2, p. 129-136, 2007.

Embrapa

Meio Ambiente

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA