

POLAND CA, DUFFIN R, KINLOCH I, MAYNARD A, WALLACE WA, SEATON A et al. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nat Nanotechnol*, v. 3 (7), p.423–428, 2008. doi:10.1038/nnano.2008.111

SHATKIN, J. A., et al. Nano Risk Analysis: Advancing the Science for Nanomaterials Risk Management. *Risk Analysis*, v. 30 (11). p., 1680-1687, 2010.

SAVOLAINEN, et al. Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies—A review. *Toxicology*, v.269, p.92–104, 2010.

WRIGHT, J. T. C; GIOVINAZZO, R. A. D. Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. *Caderno de Pesquisas em Administração*, v.1 (12), 2000.

ANÁLISE INTEGRADA DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA AMBIENTAL DOS NANOPRODUTOS

*Katia R.E. Jesus¹, Vera Lúcia S. S. de Castro¹, Odílio B. G. Assis²

¹Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. ²Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP.

*katia.jesus@embrapa.br

Classificação: Estudo dos aspectos de segurança em nanotecnologia.

Resumo

As situações de risco potencial de um nanoproduto são cada vez mais multifacetadas. A triagem para a execução de novos testes pode seguir a árvore (decisões sim/não) considerando as informações anteriormente conhecidas e os dados obtidos em testes a respeito do comportamento no ambiente, as características e a novidade do nanoproduto. A sequência de passos avaliados com a árvore de decisão dependerá do estado da arte da metodologia de avaliação de risco e das características de cada caso em estudo.

Palavras-chave: Ambiente; Ecotoxicidade; Segurança de nanoproductos, Árvore de decisão.

INTEGRATED ANALYSIS OF NANOPRODUCTS ENVIRONMENTAL SAFETY CRITERIA

Abstract

The potential risk of nanoproducts is increasingly multifaceted. Screening for the implementation of new tests can follow the decision tree (decision yes/no) considering the previously known information and data from tests about the behavior in the environment, the characteristics and the novelty of nanoproduct. The sequence of steps evaluated by the decision tree will depend on the methodology state of the art for risk assessment and the characteristics of each case study.

Keywords: Environment; Ecotoxicity; Nanoproducts safety; Decision tree.

1 INTRODUÇÃO

A aplicabilidade da nanotecnologia oferece a perspectiva de grandes avanços científicos para melhorar a qualidade de vida e como qualquer área da tecnologia que faz uso intensivo de novos materiais e substâncias pode trazer algum risco ao meio ambiente e à saúde humana ou animal. A avaliação do potencial impacto biológico dos nanomateriais se tornou de grande importância nos últimos anos, uma vez que o rápido ritmo de desenvolvimento da nanotecnologia não foi acompanhado por uma investigação completa de sua segurança. As mesmas propriedades que tornam as nanopartículas interessantes para aplicações, como seu pequeno tamanho, sua enorme superfície e sua alta reatividade, também as tornam acessíveis a locais anteriormente inacessíveis em sistemas vivos, com consequências potencialmente significativas para o ambiente. Contudo, a regulamentação do uso de nanomateriais avançou lentamente no sentido de garantir a segurança dos ecossistemas em contato com nanomateriais (COHEN et al., 2013). Há ainda uma grande discussão a respeito da regulamentação destes materiais por ser uma área nova do conhecimento. Além disso, há discussão entre os nanotoxicologistas sobre a métrica apropriada para avaliação da toxicidade de NPs.

A compreensão de situações potencialmente de risco é cada vez mais multifacetada e, desafia os avaliadores de risco a escolherem as prioridades entre a multiplicidade de fatores de risco contribuintes. Alguns modelos foram propostos para avaliar os nanoproductos (HANSEN et al., 2014). A exposição à nanomateriais pode acontecer por ingestão, inalação e contato dérmico. Na avaliação das alterações de um ecossistema é estudada a variação de resposta entre as populações de organismos expostas e não-expostas aos agentes estressores em estudos de biomonitoramento considerando as possíveis interferências no meio ambiente. Para tanto, na construção de um modelo que envolve múltiplas hipóteses, uma abordagem útil é criar um modelo conceitual que combine os dados selecionados a priori em uma estrutura causal. Um sistema de informação pode ser consequentemente criado de modo a coletar, armazenar e compartilhar a informação além de auxiliar na tomada de decisão. Em vista disso, foi proposta desse trabalho uma árvore de decisão que consiste em um diagrama que descreve as interações chaves entre as decisões e os eventos probabilísticos associados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A construção da árvore de decisão direciona as informações necessárias para avaliação e define se o nanoproducto apresenta características potencialmente causadoras de danos. O processo inicia-se com um esquema que permite classificar o nanocomposto em algumas classes de perigo. O desenho da árvore de decisão baseia-se no consenso geral de que um nanomaterial insolúvel, particulado, biopersistente e capaz de translocar sistemicamente, provavelmente representa um risco para a saúde humana diferente do produto convencional, não biopersistente e prontamente solúvel. A árvore de decisão foi baseada principalmente em alguns critérios relacionados ao uso dos nanoproductos e às áreas potencialmente atingidas por estes. Assim, para a inclusão dos indicadores ecotoxicológicos selecionados, há necessidade de avaliação dos mesmos quanto ao seu nível de importância em cada caso. É importante ressaltar, contudo que a sequência de passos avaliados com a árvore de decisão dependerá do estado da arte da metodologia de avaliação de risco e das características de cada caso em estudo.

Uma característica inicial importante a ser considerada é a natureza do material. Assim, os materiais podem, por exemplo, ser divididos em nanofibras, nanopartículas metálicas, nanomatrizes e nanofilmes. Dentro destas categorias, a classificação de perigo pode ser baseada nas características do nanomaterial como forma, tamanho e carga além de informações sobre o estado de agregação/aglomeração na água e solo, presença de nanoencapsulação além de toxicidade do material convencional (tamanho não nanométrico). A triagem para a execução de novos testes seguindo a árvore (decisões sim/não) consideraria as informações anteriormente conhecidas e os dados obtidos nos testes

A seguir, são apresentadas algumas questões que guiarão o desenho da árvore relacionadas ao comportamento do nanoproducto no ambiente e ao conhecimento de sua possível toxicidade: 1 – O material em questão pode causar prejuízos ao ambiente? Ele é persistente? Ele se dispersa prontamente?; 2 - O material em questão é novo ou não tem seus efeitos toxicológicos conhecidos?; 3 - O material em questão pode causar prejuízos aos organismos de um ecossistema? Ele sofre bioacumulação?

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Questões relacionadas às características do nanoproducto

A primeira etapa de qualquer avaliação de segurança consiste na identificação e caracterização do objeto de estudo, foco da avaliação. A diversidade de construções e desenvolvimentos possíveis na área da Nanotecnologia faz com que essa orientação seja ainda mais necessária. Esse trabalho propõe a análise das características dos nanoproductos como base para auferir ou recomendar uma avaliação de segurança mais detalhada. Essa avaliação mais específica pode ser do ponto de vista toxicológico ou uma análise química propriamente dita. Essas informações são de suma importância, pois auxiliam na elaboração de uma análise mais objetiva e fornece resultados mais completos para a análise de risco. Desse modo, deve ser realizado o levantamento de informações pertinentes a caracterização e/ou classificação do produto como, por exemplo, da nanopartícula quanto às seguintes características: tamanho de sua menor dimensão, formação de aglomerados ou agregados, solubilidade em água, carga da superfície, estimativa da área superficial, além de dados prévios de efeitos tóxicos em plantas, animais ou humanos; dentre outras.

3.2 Questões relacionadas à novidade do nanoproduto

A novidade do nanoproduto é considerada quando os novos materiais até então não tenham sido utilizados ou são raramente usados em escala industrial; são novas formas de materiais existentes com características que diferem significativamente de formas familiares ou que ocorrem naturalmente; são novas aplicações para materiais ou são produtos tecnológicos existentes formulados de modo diferente, ou apresentam novas vias de entrada no ambiente devido a nova previsão de uso. Nestes casos, a fim de determinar se um dado nanoproduto deve ser alvo de preocupação ambiental, pode-se proceder a uma triagem inicial para avaliar a probabilidade de exposição inicial e subsequentemente a análise detalhada do perigo ambiental potencial associado ao mesmo e que venha a ser sugerido pela triagem inicial *in vitro* (potencial de translocação através das barreiras biológicas, a citotoxicidade, a geração de espécies reativas de oxigênio, a resposta inflamatória, a genotoxicidade), seguido de testes *in vivo* (toxicidade aguda e por exposições repetidas) e testes comportamentais. Dependendo do resultado deste perfil toxicológico inicial, podem ser identificados alertas de preocupação potencial e, em consequência, outros testes seriam conduzidos para melhor avaliar a segurança de uso do nanomaterial através de parâmetros adicionais caso a caso.

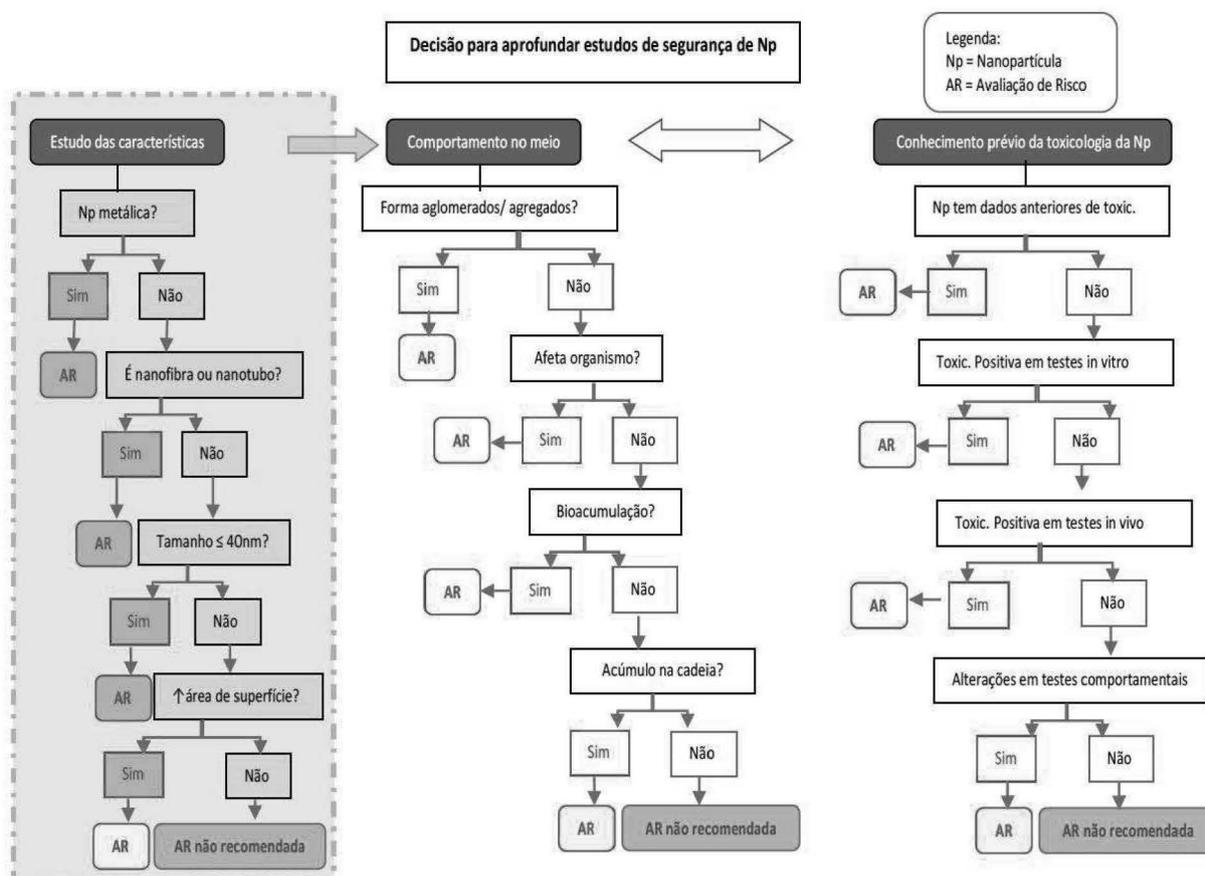


Figura 1. Dados necessários para o estabelecimento da árvore de decisão para a avaliação de risco de nanoproductos.

3.3 Questões relacionadas ao ambiente

Os estudos sobre a translocação do nanomaterial dentro dos organismos também podem se beneficiar do conhecimento a respeito das características dependentes do pH, já que o pH varia entre os órgãos, tecidos e compartimentos celulares de um organismo. Por sua vez, nas matrizes ambientais; a dissolução das partículas no meio aquático é dependente das propriedades físico-químicas intrínsecas do material (tamanho de partícula, área superficial, composição química, etc), e dos parâmetros ambientais (pH, temperatura, presença de matéria orgânica, etc.). Assim, alterações nas características físico-químicas da água (pH, força iônica, matéria orgânica) podem alterar a morfologia interfacial, hidrofobicidade e carga, que ditam as características de estabilidade (agregação, sedimentação, deposi-

ção), reatividade (dissolução e precipitação), e, conseqüentemente, a biodisponibilidade e a toxicidade potencial das nanopartículas. Considerando a variabilidade da química da água natural, ainda não estão bem estabelecidas as implicações de dados obtidos em laboratório, utilizando água deionizada ou meios ricos em nutrientes em relação aos sistemas ambientais reais. O tamanho, a forma química, a solubilidade e a alteração na carga podem afetar as interações químicas e biológicas em consequência a exposição a uma nanopartícula específica (HANSEN et al., 2014).

De acordo com as características físico-químicas do nanoproduto, este pode se depositar no solo ou ficar aderido a materiais orgânicos e inorgânicos. Neste sentido, há a necessidade de formulação de uma metodologia para avaliar a persistência, o bioacúmulo, os produtos de decomposição, a toxicidade e exposição aos nanoprodutos para uma avaliação de segurança desta tecnologia. Outro conjunto de questões está relacionado ao fato do nanomaterial ser persistente ou bioacumulativo nos tecidos e amostras biológicas. Contudo, as técnicas de análise para a quantificação de nanoprodutos nos meios ambientais e biológicas ainda não estão totalmente desenvolvidos. Por fim, outro problema são as propriedades fotocatalíticas do nanoproduto. Assim, por exemplo, as propriedades fotocatalíticas do nano-TiO₂ podem elevar seus efeitos tóxicos a organismos aquáticos em condições ambientais, e poucos estudos têm considerado isso. Devido à formação de ROS quando o TiO₂ é exposto à radiação UV, pode ocorrer manifestação ou aumento de seus efeitos tóxicos em organismos aquáticos em condições ambientais (CLEMENTE et al., 2014).

4 CONCLUSÃO

De forma geral, as metodologias de avaliação de risco existentes atendem genericamente às necessidades de avaliação dos nanoprodutos, mas a utilização destas para a realização de ensaios nanotoxicológicos enfrenta diversos questionamentos. O detalhamento para cada teste ou grupo de testes requer modificações e validações para tratar adequadamente cada nanomaterial (STONE et al., 2010). Desta forma, a avaliação da toxicidade depende do conhecimento das propriedades físicoquímicas do material além do conhecimento de seu comportamento no meio no qual está inserido e suas interações com os diversos organismos deste. Através do emprego da árvore de decisão, recomenda-se a realização de avaliações de risco mais específicas para a situação em questão, garantindo assim a acuidade da análise e segurança da nanopartícula.

AGRADECIMENTOS

Fapesp, CNPq e EMBRAPA

REFERÊNCIAS

- CLEMENTE, Z.; CASTRO, V.; MOURA, M.; JONSSON, C.; FRACETO, L. Toxicity assessment of TiO₂ nanoparticles in zebrafish embryos under different exposure conditions. *Aquatic Toxicology*, v.147, p.129–139, 2014.
- COHEN, Y.; RALLO, R.; LIU, R.; LIU, H. In Silico Analysis of Nanomaterials Hazard and Risk Accounts of Chemical Research, v.46, n.3, p.802–812, 2013.
- HANSEN, S.; JENSEN, K.; BAUN, A. NanoRiskCat: a conceptual tool for categorization and communication of exposure potentials and hazards of nanomaterials in consumer products, *J Nanopart Res*, v.16, p.2195, 2014.
- STONE, V.; NOWACK, B.; BAUN, A.; VAN DEN BRINK, N.; VON DER KAMMER, F.; DUSINSKA, M.; HANDY, R.; HANKIN, S.; HASSELLOV, M.; JONER, E.; FERNANDES, T. Nanomaterials for environmental studies: Classification, reference material issues, and strategies for physico-chemical characterisation. *Sci total Environ*, v.408, p.1745-1754, 2010.