



Aplicações da nanotecnologia na indústria de alimentos. Uma Revisão

Rafaela Cardoso Gomes¹, Victor Alessandro Abib Pastore², Otávio Augusto Martins³, Germano Francisco Biondi⁴

¹Médica Veterinária Residente em Inspeção Sanitária de Alimentos – Universidade Estadual Paulista UNESP Botucatu

²Médico Veterinário Residente em Inspeção Sanitária de Alimentos – Universidade Estadual Paulista UNESP Botucatu

³Químico - Universidade Estadual Paulista UNESP Botucatu

⁴Professor Titular da disciplina de Inspeção de Carnes - Universidade Estadual Paulista UNESP Botucatu

Autora para correspondência: rafaelaunespvet@gmail.com

Resumo: A idéia de que a matéria é composta por átomos já existe há dois mil anos, porém apenas recentemente o prefixo nano, seguido de alguma outra palavra, tem utilização cada vez mais frequente no dia-a-dia da população. A Nanotecnologia é um termo genérico para um conjunto de tecnologias, técnicas e processos para a posterior preparação, caracterização, manipulação de átomos ou moléculas para construir novos materiais em escala de nanométrica. O reconhecimento da nanociência e da nanotecnologia é visto como uma tendência atual na ciência e tecnologia do século XXI, mesmo sendo inicialmente vista apenas como ficção científica. Dentre as diversas áreas que podem ser beneficiadas, a indústria alimentícia é de fato um dos setores que atraem mais investimentos. Nesse mercado, se incluem o desenvolvimento de novos materiais funcionais, produtos e embalagens, além de métodos para melhoria da segurança alimentar. Os nanosensores têm sido desenvolvidos e utilizados como alternativas potenciais para diminuir a sobrecarga dos métodos padrões, por terem tempo de resposta rápido e, além disso, eles serem altamente sensíveis, robustos e fáceis de usar. A produção de nanopartículas e de materiais nanoestruturados em escala industrial traz consigo consequências imprevisíveis, quando comparados aos métodos tradicionais. Os nanomateriais podem apresentar diversos metais pesados em sua composição que são conhecidamente tóxicos. Além disso, por seu tamanho reduzido, esses compostos interagem grandemente com o ambiente tanto externo quanto fisiológico. Dessa forma, são necessários mais estudos relacionados à toxicidade desses novos materiais, tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana.

Palavras chave: nano, nanomateriais, alimentos

Nanotechnology applications in the food industry. A Review

Abstract: The idea that the matter is composed of atoms exists about two thousand years ago, but only recently the nano prefix, written with some other word, is becoming increasingly common use in the daily life of the population. Nanotechnology is a generic term for a set of technologies, techniques and procedures for further preparation, characterization, manipulation of atoms or molecules to build a new material in the nanometer scale. The recognition of nanoscience and nanotechnology is seen as a current trend in science and technology of the century, even though initially viewed as science fiction. Among the many areas that can benefit, the food industry is in fact one of the sectors that attracts more investments. This type of market includes the development of new functional materials, products, packaging, and methods for improving food safety. Nanosensors have been developed and used as potential alternatives for reducing the load of standard methods, for having quickly response time and, moreover, they are highly sensitive, robust and easy to use. The production of nanoparticles and nanostructured materials in an industrial scale can brings unpredictable consequences when compared to traditional methods. Nanomaterials can present many heavy metals in their composition that are toxic. In addition, due their small size, these compounds interact largely with both external and physiological environment. Thus, further studies related to the toxicity of these new materials are needed, both for the environment and for human health.

Key words: nano, nanomaterials, food

Autor para correspondência - * rafaelaunespvet@gmail.com

Recebido 20/02/2015; Aceito 28/03/2015

<http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20150001>

Introdução

A Nanotecnologia é um termo genérico para o conjunto de tecnologias, técnicas e processos para a posterior preparação, caracterização, manipulação de átomos ou moléculas para construir novos materiais em escala de nanômetros (ALENCAR; BOCHNER; DIAS, 2013). Dentre as diversas áreas que podem ser beneficiadas, a indústria alimentícia é de fato um dos setores que atraem mais investimentos. Nesse mercado, se incluem o desenvolvimento de novos materiais funcionais, produtos e embalagens, além de métodos para melhoria da segurança alimentar e de biossegurança (PEREZ, 2012). A partir da nanociência, estão sendo desenvolvidos métodos de detecção de contaminantes químicos e biológicos de alta sensibilidade capazes de fornecer resposta da análise em tempo real. Dentre estes, as pesquisas em nanosensores são impulsionadas, como também o desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes (FURTADO, 2008). É importante destacar que produção de nanopartículas e de materiais nanoestruturados em escala industrial traz consigo consequências imprevisíveis, quando comparados aos métodos tradicionais. Em decorrência do potencial risco de contaminação por nanopartículas, a definição de diretrizes e recomendações de proteção do trabalhador se faz necessária. Assim, uma série de cuidados é indicada para as principais formas de contaminação e exposição; respiratória (inalação); ingestão acidental e contato direto com a pele, tanto para o trabalhador quando para os consumidores (ALENCAR; BOCHNER;

DIAS, 2013). Além da toxicidade, é possível citar também o risco de exclusão social mediante uma nova tecnologia, pois várias inovações podem chegar somente a um grupo seletivo de pessoas, normalmente as que têm poder aquisitivo para adquiri-las (FERREIRA, 2010).

Histórico da Nanotecnologia

A idéia de que a matéria é composta por átomos já existe há dois mil anos, porém apenas recentemente o prefixo nano, seguido de alguma outra palavra, tem utilização cada vez mais frequente no dia-a-dia da população. Por enquanto essa presença dá-se principalmente através dos meios de comunicação de modo que o prefixo nano tem sua origem na palavra grega *vávoç* (*nannos*) significa anão. Somente no fim dos anos cinquenta, foi que se iniciaram os estudos da nanociência, estreada por um físico norte americano: Richard Phillips Feynman. (SCHULZ, 2005). Feynman participou de um marco da história da nanociência, em uma conferência em 1959, em reunião da Sociedade Americana de Física realizada no Instituto de Tecnologia da Califórnia. Em uma de suas palestras, Feynman afirmou: “... *os princípios da física não falam contra a possibilidade de se manipular as coisas átomo por átomo...*”. Discutiu também sobre a impossibilidade naquela época de visualização dos átomos, sendo isso o principal entrave para sua manipulação (BATISTA *et al*, 2010). Com o passar dos anos e desenvolvimento da tecnologia, a visualização dos átomos já se faz possível, derrubando a principal barreira para manipulação na escala nanométrica.

Com a criação do microscópio de varredura por tunelamento, foi possível a visualização dos átomos, nunca vistos ou imaginados anteriormente, além de também sua manipulação. O microscópio de varredura por tunelamento resultou a seus inventores em 1986, o Prêmio Nobel da Física (CADIOLLI & SALLA, 2006). Um dos grandes avanços da nanociência foi devido a sua complexidade, sendo resultado de áreas multidisciplinares, tais como química, física, biologia e engenharia (PEREZ, 2012). A Nanotecnologia é um termo genérico para o conjunto de tecnologias, técnicas e processos para a posterior preparação, caracterização, manipulação de átomos ou moléculas para construir novos materiais em escala nanométrica (ALENCAR; BOCHNER; DIAS, 2013). O reconhecimento da nanociência e da nanotecnologia é visto como uma tendência atual na ciência e tecnologia do século XXI, mesmo sendo inicialmente vista apenas como uma ficção científica. A consciência do potencial desta tecnologia criou um ambiente de competição científica e tecnológica, movendo recursos humanos e financeiros em laboratórios e indústrias a nível mundial. A escala nano, ou bilionésimo de metro, envolve processos, materiais e produtos que variam de tamanho entre 1 e 100 nanômetros, e têm beneficiado distintos segmentos, como, alimentício, eletrônico, farmacêutico, cosmético, médico, agrícola e de segurança nacional. Sem dúvida, a nanotecnologia é um dos ramos da ciência que mais se desenvolve atualmente, por atrair interesse de grandes países investidores em pesquisa, sendo eles, primeiramente os Estados

Unidos, seguidos da Alemanha e Japão (RAMOS & CRECZYNSKI-PASA, 2008). Dentre as diversas áreas que podem ser beneficiadas, a indústria alimentícia é de fato um dos setores que atraem mais investimentos. Nesse mercado, se incluem o desenvolvimento de novos materiais funcionais, produtos e embalagens, além de métodos para melhoria da segurança alimentar (PEREZ, 2012). O governo brasileiro incluiu a nanotecnologia entre as prioridades de estudo e desenvolvimento e está determinado a avançar nessa área ao longo do tempo. A comunidade científica e o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) estão convencidos de que o país tem potencial para conquistar novos mercados a partir da necessidade de crescimento e inovação tecnológica a nível mundial (RAMOS & CRECZYNSKI-PASA, 2008).

Nanosensores

As doenças transmitidas por alimentos tem sido uma séria ameaça para a saúde humana por muitos anos e continua a ser um problema na maioria dos países. Os métodos recomendados por agências internacionais de alimentos e controle da saúde são os métodos de cultura clássica, e estes métodos dão informações qualitativas e quantitativas, no entanto, necessitam de um pré-tratamento para a realização da análise. O desenvolvimento de novas metodologias com tempo de resposta mais rápido, melhor sensibilidade e seletividade ainda é um desafio para a inspeção da higiene dos alimentos (CALIL & SILVA, 2011). Os nanomateriais têm recebido atenção especial no desenvolvimento de novos sistemas de

biosensoriamento. Neste contexto, os nanosensores têm sido desenvolvidos e utilizados como alternativas potenciais para diminuir a sobrecarga dos métodos padrões, por terem tempo de resposta rápido e, além disso, eles serem altamente sensíveis e robustos. (AFONSO *et al.*, 2013). Nanosensores são pequenos dispositivos que utilizam reações biológicas para detecção de substâncias alvo (bactérias, micotoxinas), sendo tais dispositivos combinados a um componente biológico, que interage com um substrato alvo e a um transdutor de sinais que converte os processos de biorreconhecimento em sinais amplificados e mensuráveis. Quando comparados aos métodos tradicionais, as análises que utilizam nanosensores são consideradas mais sensíveis por fornecer informações em tempo real das interações a nível celular e molecular (CALIL & SILVA, 2011). O transdutor age como uma interface, que mensura a mudança física ou química que ocorre na reação com o biorreceptor, e transforma essa energia em um produto mensurável, como massa, carga, calor ou luz. A unidade processadora de sinal funciona como um detector que filtra, amplificar e analisa o sinal transmitido, que o transfere para um monitor ou o armazenando em algum dispositivo para posterior coleta das informações (CALIL & SILVA, 2011). O uso deste tipo de sensores é vantajoso por estes serem altamente sensíveis e seletivos, além de acessíveis e prontos para uso. Porém, existem algumas limitações de utilização, como interferências eletroquimicamente ativas na amostra, pouca

estabilidade a longo prazo e problemas de transferência de elétrons (AFONSO *et al.*, 2013).

Embalagens

De fato, o desenvolvimento de materiais de embalagem de alimentos é a categoria de destaque das aplicações da nanotecnologia para o setor alimentício (PEREZ, 2012). A oxidação constitui um dos mecanismos mais frequentes na deterioração e redução da vida útil dos alimentos, pois além de alterar o sabor e a qualidade nutritiva dos alimentos, a oxidação resulta em compostos reativos e tóxicos que representam um perigo para os consumidores (SOARES, 2009). Nesse contexto, são vistas várias denominações para as inovações em embalagens, porém as que aparecem em ascensão e em maior destaque são as dos tipos ativas e inteligentes. Embalagens ativas são aquelas que intencionalmente interagem com o alimento, com o objetivo de melhorar características alvo. Enquanto as embalagens inteligentes podem ser definidas como aquelas que monitoram as condições do alimento em contato ou do ambiente externo à embalagem (FURTADO, 2008). As principais finalidades em embalagens ativas são relacionadas a substâncias que absorvem oxigênio, etileno, umidade e odor, e aquelas que atuam como agentes antimicrobianos, antioxidantes e aromas. Essas técnicas atuam na incorporação e, ou imobilização de certos aditivos à embalagem em vez da incorporação direta no produto. Os agentes antimicrobianos podem ser incorporados diretamente à matriz polimérica em rótulos, etiquetas ou estar contidos em sachês em contato com o alimento.

No primeiro, há liberação do agente antimicrobiano para o alimento, enquanto que na imobilização o composto atua somente em nível superficial no alimento (SOARES, 2009). O uso de embalagens contendo agentes antimicrobianos tem como vantagem a difusão desses compostos da embalagem para a superfície do alimento de maneira controlada. Com isso, estão presentes em menores quantidades, atendendo a uma demanda atual do consumidor, que é a busca por alimentos livres de conservantes, e apenas onde sua presença é necessária, ou seja, especialmente na superfície do produto, local onde torna-se primeiramente visível o processo de deterioração (HANUŠOVÁ; DOBIÁŠ; KLAUDISOVÁ, 2009). Quando o antimicrobiano é liberado da embalagem ao longo do tempo, a progressão de crescimento microbiano e a atividade antimicrobiana na superfície do produto podem ser diminuídas. Dessa forma, a atividade antimicrobiana da embalagem auxilia na garantia da segurança alimentar durante a distribuição dos alimentos (SOARES, 2009).

Perspectivas e Riscos

A nanotecnologia tem sido apontada como uma das áreas de grande potencial para atender os objetivos do Milênio das Organizações das Nações Unidas (ONU). O caráter interdisciplinar e multidisciplinar garante a nanotecnologia ser uma tecnologia totalmente inovadora, trazendo benefícios a todas as áreas de estudo (SCHULZ, 2005).

A produção de nanopartículas e de materiais nanoestruturados em escala industrial traz consigo consequências imprevisíveis, quando

comparados aos métodos tradicionais. As nanopartículas e nanoestruturas devem ser avaliadas neste contexto e não de acordo com o que se acredita, de que não há motivos para preocupação, já que a sociedade convive há séculos com estas substâncias. O que ainda se descobriu é considerado insuficiente a respeito do comportamento das nanopartículas industriais residuais já despejadas no meio ambiente, e em contato com o corpo humano (BRAGA & MARTINS, 2007). No desenvolvimento de novos produtos que utilizam a nanotecnologia ainda há falta de regulamentação, informação científica sobre efeitos na saúde, orientação de organismos internacionais e mecanismos de monitoramento. É uma área que mesmo sendo altamente pesquisada há lacunas que necessitam ser preenchidas (DELAZARI, 2013). De fato são necessárias mais pesquisas relacionadas à toxicidade desses novos materiais, tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. Alguns nanomateriais possuem diversos metais pesados em sua composição que são reconhecidamente tóxicos. Além disso, esses compostos interagem grandemente com o ambiente tanto externo quanto fisiológico, por ter tamanho bastante reduzido (CALIL & SILVA, 2011). A síntese, manuseio, estocagem, estabilização e a incorporação de materiais com dimensões nanométricas exigem uma melhor avaliação dos procedimentos de utilização e equipamentos industriais de forma a garantir a proteção dos trabalhadores e dos consumidores. Sendo assim, com o aumento de escala e de volume de produção dos materiais nanoestruturados, uma parcela cada vez maior da

população trabalhadora passará a estar exposta aos nanomateriais em variadas formas de apresentação, como em alimentos, cosméticos, vestuário... (LENZ e SILVA, 2013). Em decorrência do potencial risco de contaminação por nanopartículas, a definição de diretrizes e recomendações de proteção do trabalhador se faz necessária, mesmo que o grau de certeza sobre a eficácia dessas práticas ainda necessite de melhores confirmações, validações e ajustes. Assim, uma série de cuidados é indicada para as principais formas de contaminação e exposição; como a respiratória (inalação); ingestão acidental e contato direto com a pele. (ALENCAR; BOCHNER; DIAS, 2013). No caso dos meios de exposição dos trabalhadores, os riscos associados aos nanomateriais precisam ser desenvolvidos até atingirem a sua plenitude e maturação, pois as substâncias possuem diferentes propriedades e ainda não se sabe concretamente o efeito (dose, exposição, toxicidade ao longo do tempo) e o risco associado a cada tipo de material (LENZ e SILVA, 2013). DROBNE (2007) afirmou que as membranas celulares, mitocôndrias e núcleos celulares são considerados pontos alvos para indução da toxicidade pelas nanopartículas. As mitocôndrias são alvo de partículas que foram fagocitadas pelas células e os danos gerados a elas podem levar à diminuição do potencial de membrana mitocondrial e apoptose celular. Por seu diminuto tamanho, as nanopartículas se difundem na atmosfera, em águas e em solos, ao passo que dificulta sua remoção por técnicas usuais de filtração.

De modo geral, sabe-se muito pouco ou nada sobre a respeito da biodegradabilidade de novos nanomateriais (PISCOPO *et al.*, 2014).

O tamanho, a forma química, solubilidade e a alteração na carga das nanopartículas podem afetar as interações químicas e biológicas com as quais ela interage com o meio ambiente (MASSINI; JESUS; ASSIS, 2014).

Além da toxicidade, é possível citar também o risco de exclusão social mediante uma inovação, pois várias inovações podem chegar somente a um grupo seleto de pessoas, normalmente as que têm poder aquisitivo para adquiri-las. Os riscos advindos de novas tecnologias são reais para a sociedade como um todo, uma vez que a estas apresentam risco iminente, vários estudos são lançados para melhorar esta inovação. Desta forma, faz com que o mundo científico evolua cada vez mais, criando produtos capazes de facilitar a vida das pessoas, porém com as devidas precauções de suas aplicações (FERREIRA & SANTOS, 2010).

Considerações Finais

A indústria alimentícia tem se beneficiado com a nanotecnologia, tanto no ponto de vista da segurança alimentar quanto a desenvolvimento de embalagens, sendo um setor lucrativo e suas facilidades atraem cada vez mais novos consumidores. A discussão sobre nanotecnologia se faz importante devido aos benefícios que ela traz, mas também aos riscos que pode acarretar em sua utilização. Conclui-se que de fato é algo promissor e indispensável, e em alguns anos espera-se que traga benefícios a toda sociedade de forma equivalente e sem danos graves ao meio ambiente e seres humanos.

Referências Bibliográficas

AFONSO, A.S. Electrochemical detection of Salmonella using gold nanoparticles. **Biosensors and Bioelectronics**. n. 40,p.121–126, 2013.

ALENCAR, M.S.M; BOCHNER, R.; DIAS, M.F.F. Nanotecnologia em Ciências da Saúde no Brasil: um olhar informétrico sobre os grupos de pesquisa. **Rev. Liinc.**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 47-65, 2013.

BATISTA, R.S. *et al.* Nanociência e nanotecnologia como Temáticas para discussão de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 2, p. 479-490, 2010.

CADIOLI L.P; SALLA, L.D. Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia. **Rev. de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 1, n. 1, 2006.

CALIL, S.S.; SILVA, P.R.Q. Biossensores: estrutura, funcionamento e aplicabilidade. 2011 Disponível em: <http://www.cpgls.ucg.br/6mostra/artigos/SAUDE/SIMONE%SAAD%CALIL%PAULO%ROBERTO%QUEIROZ.pdf> Acesso em: 3 dez 2014.

DELAZARI, IVONE. Seminário de Inovação Tecnológica em Saúde: Desafios para a Regulação Sanitária. Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação. Brasília, junho, 2013. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/a3e95400410c409393c2939cca79f4cf/Novas+fronteiras+em+f%C3%A1rmacos+e+medicamentos+-+Fernanda+Pires+Vieira.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 11 dez 2014

DROBNE, D. Nanotoxicology for safe and sustainable nanotechnology. **Arh Hig Rada Toksikol**, Ljubljana, Slovenia, v.58, n.4: p. 471-478, 2007.

FURTADO, R.F. *et al.* Aplicações de biossensores na análise da qualidade de alimentos – Fortaleza. **Embrapa Agroindústria Tropical**. n.117, p.22, 2008.

HANUŠOVÁ, K.; DOBIÁŠ, J.; KLAUDISOVÁ K. Effect of Packaging Films Releasing Antimicrobial Agents on Stability of Food Products. **Czech J. Food Sci.** v. 27, 2009, Special Issue <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/07938.pdf> Acesso em: 2 dez 2014.

HENRIQUE RATTNER. Nanotecnologia – Para melhor ou para pior? **Revista Espaço Acadêmico**, n. 41, outubro, 2004. Disponível em:<http://www.espacoacademico.com.br/041/41rattner.htm> Acesso em: 5 dez 2014.

LENZ E SILVA, G.F. Saúde & Segurança Ocupacional: reflexões sobre os riscos potenciais e o manuseio seguro dos nanomateriais. **Vigilância Sanitária em Debate**. v.1, n.4, pg.43-52. 2013. Disponível em: <http://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/view/85/73> Acesso em: 08 dez 2014.

MARTINS, P.R.; BRAGA. P.R. A tecnociência financeirizada:dilemas e riscos da nanotecnologia. **Universidade e sociedade**. DF, ano XVII, n.40, julho, 2007.

PEREZ, F.S. *et al.* Nanotecnologia: aplicações na área de alimentos. **Ciências da Saúde**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2012.

- MASSINI, K.C., JESUS, K.R.E., ASSI, O.B.G. Indicadores de risco do desenvolvimento das nanotecnologias- uma ferramenta de apoio à decisão. **In: VII Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio**. Anais Eletrônicos. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora/MG, Setembro de 2014. Disponível em:<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1007314/1/2014AA47.pdf> Acesso em: 18 mar. 2015.
- PISCOPO, M.R, et al. O setor brasileiro de nanotecnologia: Oportunidades e desafios. **Revista de Negócios**. vol. 19, n. 4, p. 43-63.
- RAMOS B. G. Z. ; CRECZYNSKI-PASA,T.B. O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos. **Rev. Bras. Farm.**, v.89,n.2,p. 95-101, 2008.
- RIBEIRO, C. As novas tecnologias no campo: como a Nanotecnologia pode mudar a agricultura. **Embrapa Instrumentação**, 2013. Disponível em: <http://www.fundacaoprocafe.com.br/sites/default/files/Apresentacao%20Fund%20Procafe%202013.pdf> Acesso em: 11 dez 2014.
- SANTOS, F.F. A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos. **Rev. adm. contemp.**, Curitiba. vol.14, n.5, Sept./Oct. 2010.
- SCHULZ, P.A. O que é a nanociência e para que serve a nanotecnologia. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.
- SOARES, N.F.F. *et al.* Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres**. v.56, n.4, p.370-378, 2009.