

NANOTECNOLOGIA: APLICAÇÕES NA ÁREA DE ALIMENTOS¹

NANOTECHNOLOGY: APPLICATIONS FOR THE FOOD SECTOR

**Florência Sainz Perez¹, Silvana Maria Michelin Bertagnoli²,
Marta Palma Alves² e Neidi Garcia Penna³**

RESUMO

Durante as últimas décadas, o desenvolvimento tecnológico tem revolucionado o setor de alimentos. A mais notável e mais recente é a nanotecnologia. As áreas que podem ser beneficiadas para produção de alimentos com a nanotecnologia incluem desenvolvimento de novos materiais funcionais, processamento em micro e nanoescala, desenvolvimento de produtos, além do projeto de instrumentação e métodos para melhoria da segurança alimentar e de biossegurança. Para isso, uma variedade de processos estão sendo utilizados, incluindo a produção de nanodispersões, nanocápsulas, nanolaminados, nanotubos e nanofibras. Esta revisão apresenta as potenciais aplicações de ingredientes, aditivos alimentares e materiais em contato com alimentos derivados de nanotecnologia, bem como as potenciais implicações para a segurança do consumidor e controles regulamentares.

Palavras-chave: embalagens de alimentos, regulamentação, aditivos e ingredientes alimentares.

ABSTRACT

During the last decades, technological advances have revolutionized the food industry. The most notable and recent one is nanotechnology. The areas that can be improved for the production of food include the development of new functional material, the micro and nano scale processing, product development, besides the

¹ Trabalho de Iniciação Científica - UNIFRA.

² Acadêmica do Curso de Farmácia - UNIFRA.

³ Orientadora - UNIFRA.

⁴ Participante - UNIFRA.

design of instrumentation and methods for improving food safety and biosecurity. In this way, a variety of processes are being used, including the production of nanodispersion, nanocapsules, nanolayered, nanotubes and nanofibers. This review presents the potential applications of ingredients, food additives and material in contact with food derived from nanotechnology, as well as potential implications for consumer safety and regulatory controls.

Keywords: *food packaging, regulations, additives and food ingredients.*

INTRODUÇÃO

A ciência, neste século, está crescendo em ritmo exponencial, quando comparada com épocas anteriores, e esses avanços tornaram possíveis aplicações em todos os setores da indústria e da pesquisa. Um dos grandes avanços, devido à sua complexidade, é resultado de campos interdisciplinares, tais como química, física, biologia e engenharia, que é a nanotecnologia (MONCADA, 2007).

A nanotecnologia é a manipulação da matéria em escala nanométrica, ou seja, a produção de partículas de pequena escala, da ordem de nanômetros. O prefixo “nano” vem da palavra grega, *nanos*, de anão. Um nanômetro (1 nm) é igual a milhares de micros, milionésimos de milímetro, ou bilionésimos de metro (10^{-9} metros) (BOCCUNI et al., 2008).

O conceito de nanotecnologia foi proposto Royal Society e Royal Academia de Engenharia (Reino Unido):

Nanociência é o estudo dos fenômenos e manipulação de materiais atômicos, moleculares e escalas macromolecular, onde as propriedades diferem significativamente daqueles em maior escala. As nanotecnologias incluem o design, produção, caracterização e aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas de controle de forma e tamanho em escala nanométrica (ROYAL SOCIETY AND ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004).

Um nanomaterial foi definido como um material com uma ou mais dimensões externas em nanoescala, ou seja, nanoestruturado. Materiais que contenham as três dimensões em escala nanométrica são classificados como nanopartículas (CHAUDHRY et al., 2010). Eles incluem nanofilmes e revestimentos, nanotubos e nanopartículas (HOCELLA, 2002). Nanopartículas podem ocorrer naturalmente (por exemplo, em cinzas, como partículas do solo

ou biomoléculas) ou serem produzidos involuntariamente ou, ainda, serem intencionalmente projetados (TIEDE et al., 2008).

As nanopartículas podem ser formadas a partir de vários materiais e possuir inúmeras funções muito diferentes dos materiais à granel (PHILIP, 2008). Estes incluem alterações nas propriedades óticas, que podem ser de cor (coloides de ouro por exemplo, aparecem em vermelho forte), comportamento térmico, resistência dos materiais, solubilidade, condutividade e atividade (foto) catalítica (HOCELLA, 2002; TIEDE et al., 2008).

Provavelmente a mais significativa influência sobre o comportamento das nanopartículas, no entanto, é a mudança na proporção superfície-volume (BANFIELD; ZHANG, 2001). Diminuindo o volume com o tamanho, a proporção dos átomos na superfície das partículas aumenta, e, portanto, as propriedades de superfície podem sobrepôr as propriedades do material a granel (WAYCHUNAS, 2001). Assim, uma quantidade relativamente pequena de uma nanopartícula pode fornecer um nível de funcionalidade maior que, de outro modo, exigiria uma quantidade muito maior de material convencional. O motivo fundamental da maioria das aplicações da nanotecnologia é a promessa de materiais com funcionalidades melhoradas e uma possível redução do uso de substâncias químicas (CHAUDHRY et al., 2010).

Duas são as técnicas para se criarem nanoestruturas, com variados níveis de qualidade, velocidade e custos. Elas são conhecidas como *Bottom-up* (baixo para cima) e *Top-down* (cima para baixo). A técnica *Bottom-up* proporciona a construção de estruturas átomo por átomo ou molécula por molécula mediante três alternativas: a) síntese química, em geral utilizada para produzir matérias-primas, nas quais são utilizadas moléculas ou nanopartículas; b) auto-organização, técnica na qual os átomos ou moléculas organizam-se de forma autônoma por meio de interações físicas ou químicas, construindo assim nanoestruturas ordenadas. Diversos sais em formas de cristais são obtidos por esta técnica; c) organização determinada, neste caso, átomos e moléculas são deliberadamente manipuladas e colocadas em determinada ordem, uma por vez. A técnica *Top-down* (cima para baixo) tem por objetivo reproduzir algo, porém em menor escala que o original e com maior capacidade de processamento de informações como, por exemplo, em um *chip* (MARTINS et al., 2008).

Muitas são as áreas que foram, estão ou estarão envolvidas em nanotecnologia, entre elas: a medicina, a biologia, a farmacologia e os materiais e, neste campo, todas as aplicações nas áreas da engenharia, como construção civil, eletrônica, mecânica e química, entre outras. Durante as últimas décadas, a evolução

de um número de disciplinas de ciências e tecnologias tem revolucionado o setor de alimentos. A mais notável e mais recente é a nanotecnologia (MONCADA, 2007).

Esta revisão apresenta as potenciais aplicações de ingredientes, aditivos alimentares e materiais em contato com alimentos derivados de nanotecnologia, bem como as potenciais implicações para a segurança do consumidor e controles regulamentares.

DESENVOLVIMENTO

Chaudhry et al. (2008) afirmam que, em todo o mundo, mais de 200 empresas estão realizando pesquisas e desenvolvimento sobre o uso da nanotecnologia na agricultura ou na engenharia, transformação, embalagem ou distribuição de alimentos e suplementos de nutrientes.

Quatro grandes áreas na produção de alimentos podem se beneficiar da nanotecnologia: o desenvolvimento de novos materiais funcionais, processamento microscala e nanoscala, desenvolvimento de produto e o projeto de instrumentação e métodos para melhoria da segurança alimentar e de biossegurança (WEISS et al., 2006).

MATERIAIS USADOS EM NANOALIMENTOS

A influência das propriedades do material em nanoescala, valor nutricional e biodisponibilidade tem sido amplamente estudada (BLUNDELL, THURLBY, 1987; AGUILERA, 2005). Além disso, a relação entre a morfologia dos materiais usados em alimentos e as propriedades físico-químicas dos materiais a granel tem sido investigada (LÖSCHE, 1997 apud WEISS et al., 2006). Para isso, uma variedade de processos estão sendo utilizados, incluindo a produção de nanodispersões e nanocápsulas, nanolaminados, nanotubos e nanofibras.

Nanodispersões e nanocápsulas

Os ingredientes funcionais dos alimentos, tais como as vitaminas, os agentes antimicrobianos, antioxidantes, aromatizantes e conservantes apresentam-se em várias formas físicas e moleculares e, por raramente serem utilizados na sua forma mais pura, eles, geralmente, fazem parte de um sistema de entrega. Nanodispersões e nanocápsulas são os mecanismos ideais para a entrega destes ingredientes funcionais. Nanoencapsulamento envolve a incorporação, absorção ou dispersão de compostos bioativos em pequenas vesículas com nanodímetros (ou submicron) (WEISS et al., 2006). Estes tipos de nanoestruturas incluem

associações coloidais, nanoemulsões e nanopartículas de biopolímeros:

- Associações coloidais: micelas de surfactante, vesículas, bicamadas, micelas reversas e cristais líquidos são exemplos de associações coloidais. Um coloide é um sistema estável de uma substância que contém pequenas partículas dispersas (TARVER, 2006). As dimensões das associações coloidais estão na faixa de 5 a 100 nm e estas estruturas são, portanto, consideradas nanopartículas. As principais vantagens das associações coloidais é que eles são formados espontaneamente, são termodinamicamente favoráveis e, normalmente, são soluções transparentes. Por outro lado, a grande desvantagem é que uma grande quantidade de surfactante (e em muitos casos, cotensoativo) é necessário para formá-los, o que pode levar a problemas com sabor, custo ou regulamentação (WEISS et al., 2006).

- Nanoemulsões: uma emulsão é uma mistura de dois ou mais líquidos (como óleo e água) que não se misturam facilmente. Portanto, uma nanoemulsão é uma emulsão em que os diâmetros das gotículas dispersas tem em média 500 nm ou menos. Nanoemulsões podem encapsular ingredientes funcionais dentro de suas gotas, o que pode facilitar uma redução na degradação química (McCLEMENTS; DECKER, 2000). Na verdade, os diferentes tipos de nanoemulsões com propriedades mais complexas, tais como nanoestruturas de emulsões múltiplas ou nanoestruturas de emulsões multicamadas oferecem várias possibilidades de encapsulamento para um sistema de entrega único, que pode transportar diversos componentes funcionais (TARVER, 2006).

- Nanopartículas biopoliméricas: biopolímeros de grau alimentício, como proteínas ou polissacarídeos, podem ser usados para produzir partículas nanométricas (CHANG; CHEN, 2005). Usando interações agregativas (atração líquida) ou segregativas (repulsão), um biopolímero único é separado em nanopartículas menores. Um dos componentes mais comuns das nanopartículas constituídas por biopolímeros biodegradáveis é o ácido polilático (PLA) que apresenta algumas limitações por ser rapidamente retirado da corrente sanguínea, permanecendo isolado no fígado e rins. Assim, faz-se necessário a associação com outros compostos como o polietilenoglicol para ser bem sucedido neste sentido (RILEY et al., 1999). Outros aditivos alimentares poderiam ser usados para nanoencapsulação, tal como a carragena, a quitosana, gelatina, ácido poliglicólico e alginato (AGULLÓ et al., 2003; LOPEZ-RUBIO et al., 2006).

Nanolaminados

Composta por duas ou mais camadas de materiais com dimensões

nanométricas, um nanolaminado é um filme de grau alimentício extremamente fino (1-100 nm/camada) com suas dimensões ligadas física ou quimicamente (TARVER, 2006).

Os principais materiais usados para a formação desses revestimentos comestíveis e filmes são polissacarídeos, proteínas e lipídios. Geralmente, os filmes à base de lipídios são barreiras à umidade, mas oferecem pouca resistência à transferência de gases e pobre resistência mecânica. Em contraste, os filmes baseados em biopolímeros oferecem frequentemente boa oxigenação e boa barreira ao dióxido de carbono, mas eles oferecem pouca proteção a migração da umidade (PARK, 1999).

Nanofibras e nanotubos

Geralmente, as fibras de polímero podem variar em tamanho de 1-10nm de diâmetro e podem apresentar funcionalidades incomuns no que diz respeito às suas propriedades mecânicas, elétricas e térmicas. Embora o número de aplicações que fazem uso dessas fibras estão aumentando a uma taxa exponencial, na área de alimentos e sistemas agrícolas são relativamente poucas. Isto provavelmente porque as fibras não são tipicamente compostas de biopolímeros utilizados em alimentos, sendo feitas principalmente a partir de polímeros sintéticos. Com o progresso na produção de nanofibras de biopolímeros alimentícios, o uso de nanofibras de biopolímeros na indústria de alimentos provavelmente irá aumentar (WEISS et al., 2006).

Um nanotubo é uma estrutura nanométrica em tubos que é, frequentemente, composta de carbonos (ELKIN, 2005). Os nanotubos de carbono podem ser incorporados em polímeros estruturais (líquidos, soluções, derrete, gel, amorfo e matrizes cristalina) para aumentar as suas propriedades mecânicas em termos de resistência à tração e elasticidade (RUOFF; LORENTZ, 1995). Particularmente relevante para o setor de alimentos é a possibilidade de obtenção de nanotubos de proteínas do leite por lactoalbumina por hidrólise parcial (SOZER; KOKINI, 2009).

APLICAÇÕES DA NANOTECLOLGIA EM INGREDIENTES E ADITIVOS ALIMENTARES

Os ingredientes alimentares nanoestruturados estão sendo desenvolvidos com o apelo de oferecerem melhor sabor, textura e consistência. Atualmente, já existem exemplos de produtos alimentares denominados nanoestruturados que estão comercialmente disponíveis, embora muitos produtos ainda estejam em fase

de pesquisa e desenvolvimento (CHAUDHRY et al., 2008). Um exemplo é uma maionese composta de nanomicelas que contêm nanogotas de água no interior. Ela tem atributos como sabor e textura similares ao equivalente, mas com uma redução substancial da quantidade de gordura ingerida pelo consumidor (CHAUDHRY et al., 2010).

A Oilfresh Corporation, dos Estados Unidos, já dispõe de um produto nanocerâmico que reduz pela metade a utilização de óleo em restaurantes e *fastfoods*. Como resultado da sua maior área de superfície, previne a oxidação e aglomeração de gorduras e estende a vida útil do óleo. Além disso, o óleo aquece mais rapidamente, poupando energia na preparação dos alimentos (JOSEPH; MORRINSON, 2006).

A empresa australiana Weston Foods desenvolveu um pão com microcápsulas de óleo de atum, rico em ômega-3, mas com sabor agradável, que são programadas para liberar o componente apenas em contato com o estômago (MARTINS et al., 2008).

Entre os poucos exemplos de aditivos alimentares, atualmente disponíveis, encontra-se a forma sintética do carotenoide do tomate, Lycopeno[®], com tamanho de partícula na faixa de 100 nm. As principais aplicações do Lycopeno[®] em alimentos incluem refrigerantes, misturas de cozimento e pudins (BASF, 2003).

Embora praticamente não existam produtos alimentares que contenham nanopartículas de prata *nanosilver*, ela já está atualmente disponível como aditivo na preparação da farinha de trigo antibacteriana, sendo objeto de um pedido de patente recente (CHAUDHRY et al., 2008).

A BioDelivery Sciences International (BDSI) tem desenvolvido nanopartículas derivadas de soja não transgênica, as quais associadas ao cálcio carregam e entregam componentes farmacêuticos, bem como nutrientes, licopeno e ômega-3 diretamente às células (ETC GROUP, 2005).

A Unilever está desenvolvendo um sorvete com baixo teor de gordura a partir da redução do tamanho das partículas da emulsão. Espera, com isso, usar 90% menos emulsão e reduzir o teor de gordura de 16% para 1% (MARTINS et al., 2008).

NANOTECNOLOGIA APLICADA EM EMBALAGENS DE ALIMENTOS

Materiais de embalagem de alimentos é a maior categoria das aplicações da nanotecnologia para o setor alimentício (MARTINS et al., 2008). Vários autores têm afirmado que os principais desenvolvimentos na área de embalagens

derivadas da nanotecnologia incluem o seguinte (GREINER, 2009; CHAUDHRY et al., 2008; CHAUDHRY et al., 2010):

- incorporação de nanomateriais que melhoram as propriedades de embalagens (flexibilidade, propriedades de barreira a gases, temperatura / umidade estabilidade);
- embalagens ativas contendo nanopartículas de óxido metálico ou de metal (por exemplo, prata, óxido de zinco, óxido de magnésio) com propriedades antimicrobianas;
- embalagens inteligentes de alimentos, incorporando nanosensores para monitorar e relatar as condições dos alimentos;
- nanorevestimentos como embalagens com propriedades antimicrobianas ou de barreira e para superfícies de auto-limpeza, em instalações de processamento de alimentos.

Devido às proporções superfície-volume serem muito grandes, um relativamente baixo nível de nanopartícula é suficiente para alterar as propriedades dos materiais de embalagem sem alterações significativas na transparência, densidade e características de processamento (LEI et al., 2006; GREINER, 2009).

Os compósitos de polímeros, contendo nanopartículas de argila, estão entre os primeiros nanocompósitos a emergir no mercado como materiais melhorados para a embalagem de alimentos. Os mesmos demonstram maior resistência e propriedades térmicas (ALEXANDRA; DUBOIS, 2000), além de durabilidade (WANG et al., 2003). A estrutura de ligação forte da nanoargila em uma matriz polimérica restringe a permeação de gases e líquidos (ALEXANDRA; DUBOIS, 2000). Exemplo de compósitos de nanoargila, disponível no mercado, é o ramo da cervejaria que poderia utilizar garrafas plásticas, pois seriam mais leves e baratas do que as latas. Isto não é possível devido a problemas de oxidação e sabor, pois o álcool da bebida reage com o plástico, o que reduz severamente sua validade. As empresas Miller Brewing Co. (EUA), Hite Brewery Co. (Coréia do Sul) e Nanocor, uma subsidiária da Amcol International Corporation, desenvolveram um nanocompósito contendo nanopartículas de argila chamada IMPERM. A garrafa resultante é mais leve e forte do que a de vidro, reduzindo custos com transportes (SCRINIS; LYONS, 2007).

A Bayer Polímeros desenvolveu um filme para embalagens, o Duretano KU2- 2601, que é mais transparente e resistente do que os existentes no mercado. Esse produto é conhecido como “sistema híbrido” por ser enriquecido com um enorme número de nanopartículas de silicatos que reduz enormemente a entrada de oxigênio e de outros gases, assim como a saída da umidade, prevenindo

a deterioração do alimento. Também, a Kodak está desenvolvendo um filme especial antimicrobiano, que tem a capacidade de absorver oxigênio do alimento, impedindo que o alimento se deteriore (MARTINS et al., 2008).

Outros exemplos incluem embalagens para alimentos feitas de plástico/compósito de nano-prata e envolve a película contendo óxido de zinco para a nano-proteção antimicrobiana dos alimentos (CHAUDHRY et al., 2010). Com base na ação antimicrobiana das nanopartículas de prata, um número de embalagens ativas foram desenvolvidas para preservar os materiais dentro dos alimentos, inibindo o crescimento microbiano. Nanopartículas de prata também foram incorporadas na superfície interna de refrigeradores domésticos (LG, Samsung e Daewoo) para evitar crescimento microbiano e manter um ambiente limpo e higiênico na geladeira. Também estão sendo usados no desenvolvimento de revestimentos antimicrobianos de utensílios antibacterianos, como utensílios de mesa e produtos para animais de estimação da Nano Care Technology Ltda, China (GREINER, 2009).

Um nanocompósito com propriedades antimicrobianas, usando nano-óxido de zinco e óxido de magnésio, foi projetado recentemente na Universidade de Leeds, comparado com nanopartículas de prata, as nanopartículas de zinco e óxido de magnésio devem fornecer soluções para embalagens mais acessíveis e seguras dos alimentos no futuro (CHAUDHRY et al., 2008).

A adição de nanosensores para embalagens de alimentos também é esperada no futuro. Eles poderiam ser usados para detectar produtos químicos, patógenos e toxinas em alimentos. Numerosos relatos de pesquisa descrevem métodos de detecção de bactérias, vírus, toxinas e alérgenos usando nanotecnologia (BRODY et al., 2008).

Levando-se em conta a importância crucial do tempo em microbiologia de alimentos, o objetivo principal de nanosensores é reduzir o tempo para a detecção de patógenos de dias para horas ou mesmo minutos. Os nanosensores poderiam ser colocados diretamente no material de embalagem, onde serviriam como “língua eletrônica” ou “nariz” para detecção de substâncias químicas liberadas durante a deterioração dos alimentos (SOZER; KOKINI, 2009).

A empresa AgroMicron desenvolveu um spray nano luminescente que contém uma proteína que denuncia a presença de microrganismos como a *Salmonella*. No contato do micro-organismo com o spray, desenvolve-se um brilho característico. Quanto maior o brilho, maior a contaminação. Dentro da mesma estratégia, pesquisadores americanos desenvolveram um nanosensor portátil para detectar produtos químicos, patógenos e toxinas em alimentos. Dessa forma, os alimentos poderão ser analisados sem o envio de amostra para laboratórios que se

tornam caras e demoradas (MARTINS et al., 2008).

Pesquisadores da Universidade da Pensilvânia e do Monell Chemical Sciences Center usaram nanotubos de carbono em escala nanométrica, revestidas com fitas de DNA para criar nanosensores com habilidades para detectar odores e gostos. Uma fita de DNA serve como sensor e os nanotubos de carbono como o transmissor (BRODY et al., 2008).

RISCOS E REGULAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA

Se por um lado, as nanotecnologias podem proporcionar melhorias no desempenho industrial, na qualidade nutricional e na eficiência das embalagens dos alimentos, podem também trazer maiores riscos à saúde humana e ao meio ambiente (MARTINS et al., 2008). As principais preocupações decorrem da falta de conhecimento no que diz respeito às interações dos materiais em escala nanométrica, a nível molecular ou fisiológico e os seus efeitos e potenciais impactos sobre a saúde do consumidor e o meio ambiente. É importante notar que os nanomateriais, devido à sua maior superfície de contato, podem apresentar maiores efeitos tóxicos que não estão aparentes nos materiais a granel (DOWLING, 2004).

Experiências *in vitro* demonstraram o aumento da oxidação de células de tecido humano, produção de proteínas responsáveis por inflamações, mutações no DNA, prejuízos da estrutura nuclear de células e interferência na atividade celular (MILLER; SEJEN, 2005). Os nanoalimentos constituem uma tecnologia nova para os consumidores e não se sabe como será a percepção pública, atitudes, escolha e aceitação destas aplicações no setor de alimentos no futuro (CHAUDHRY et al., 2008).

Na pesquisa realizada por Siegrist et al. (2007), com 153 pessoas, foi avaliada a percepção pública de diferentes tipos de materiais em alimentos, mostrando que as embalagens derivadas da nanotecnologia foram percebidas como sendo mais benéficas do que os alimentos derivados da engenharia nanotecnológica. Estes resultados sugerem que a nanotecnologia no interior do alimento é percebida como menos aceitável do que estar no seu exterior, ou seja, em embalagens de alimentos.

O principal risco da exposição do consumidor a nanopartículas, a partir de embalagens de alimentos, é provável que seja com base na migração potencial de nanopartículas em alimentos e bebidas. Até o momento, existe apenas um estudo publicado que determinou a migração de minerais (Fe, Mg, Si) a partir de filmes biodegradáveis de amido/nanoargila. Os resultados desse estudo mostraram uma transferência insignificante nos níveis de Fe e Mg em vegetais embalados, mas um aumento consistente na quantidade de Si (o principal componente da nanoargila)

(AVELLA et al., 2005).

A entrada desses produtos no mercado, em diferentes países e regiões, vai depender, entre outros fatores, do preço e da qualidade dos produtos. Isto significa também que haverá uma necessidade crescente de estratégias para regulamentar os riscos, estabelecendo responsabilidades a nível global (CHAUDHRY et al., 2010).

CONCLUSÃO

A nanotecnologia aplicada à área de alimentos é um tema ainda novo, mas que deve crescer muito rapidamente nos próximos anos. Esta tecnologia oferece benefícios reais para os nanoalimentos como melhores sabores, cores, texturas, potencial redução na quantidade de gordura e outros aditivos, melhorias na absorção e biodisponibilidade de nutrientes e suplementos; preservação da qualidade e frescor dos alimentos e uma melhor rastreabilidade e segurança dos produtos alimentares, através de aplicações de nanoembalagens.

Atualmente, as maiores aplicações em nanoalimentos estão concentradas na área de embalagens, seguidas da nanoencapsulação de ingredientes e aditivos, alguns já disponíveis no mercado ou em fase de pesquisa e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

AGUILERA, J. M.; Why food microstructure?. **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 1-2, p. 3-11, 2005.

AGULLO', E. et al. Present and future role of chitin and chitosan in food. **Macromolecular Bioscience**, v. 3, n. 10, p. 521-530, 2003.

ALEXANDRA, M; DUBOIS, P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. **Materials Science and Engineering Reports**, v. 28, p. 1-63, 2000.

AVELLA, M. et al. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. **Food Chemistry**, v. 93, p. 467-474, 2005.

BANFIELD J. F.; ZHANG H. Z. Nanoparticles in the environmental. **Nanoparticles Environmental**, v. 44, p. 1-58, 2001.

BASF. **FDA acknowledges GRAS notification for BASF synthetic lycopene:** nutritional supplement used in tablets or to fortify food and beverages. 2003. Disponível em http://www.basf.com/corporate/news2003/newsinfo_gras_notification.html. Acessado em 30 set. 2010.

BLUNDELL, J. E., THURLBY, P. L. Experimental manipulations of eating advances in animal models for studying anorectic agents. **Pharmacological Therapy**, v. 34, n. 3, p. 349-401, 1987.

BOCCUNI, F. et al. Potential occupational exposure to manufactured nanoparticles in Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 949-956, 2008.

BRODY, A. L. et al. Innovative Food Packaging Solutions. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 8, p. 107-116, 2008.

CHANG, Y. C.; CHEN, D. G. H. Adsorption kinetics and thermodynamics of acid dyes on a carboxymethylated chitosan-conjugated magnetic nano-adsorbent. **Macromolecular Bioscience**, v. 5, n. 3, p. 254-261, 2005.

CHAUDHRY, Q. et al. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. **Food additives and contaminants**, v. 25, n. 3, p. 241-258, 2008.

CHAUDHRY, Q.; WATKINS, R.; CASTLE, L. Nanotechnologies in the Food Arena: New Opportunities, New Questions, New Concerns. **RSC Nanoscience & Nanotechnology**, v. 14, n. 14, p. 1-17, 2010.

DOWLING, A. P. Development of nanotechnologies. **Materials Today**, v. 7, p. 30-35, 2004.

ELKIN, T. et al. Immuno carbon nanotubes and recognition of pathogens. **ChemBiochem**, v. 6, p. 640-643, 2005.

ETC GROUP. **Down on the farm**. 2005. Disponível em: http://www.etcgroup.org/documents/NR_DownFarm_final.pdf. Acesso em 25 set. 2010.

GREINER, R. Current and projected applications of nanotechnology in the food sector. **Nutrire: Sociada Brasileira de alimentação e nutrição**, v. 34, n. 1, p. 243-260, 2009.

HOCHELLA, M. F. Nanoscience and technology the next revolution in the Earth sciences. **Earth Planet Science Letters**, v. 203, p. 593-605, 2002.

JOSEPH, T.; MORRISON, M. **Nanotechnology in agriculture and food**. 2006. Disponível em http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~s~cid~377~.html?action=longview_publication. Acessado em 29 set. 2010.

LEI, S. G.; HOA, S. V.; TON-THAT, M. T. Effect of clay types on the processing properties of polypropylene nanocomposites. **Composites Science and Technology**, v. 66, p. 1274-1279, 2006.

LOPEZ-RUBIO, A. et al. Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, p. 567-575, 2006.

MARTINS, P. R. et al. **Nanotecnologias na Indústria de Alimentos**. CD ROM VI Ciclo de Debates em Economia Industrial , Trabalho e Tecnologia – EITT - São Paulo, PUC, p. 1-15, 2008.

McCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A. Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 8, p. 1270-1282, 2000.

MILLER, G.; SENJEN, R. **Out of the laboratory and on to our plates: nanotechnology in food & agriculture**. 2005. Disponível em: <<http://nano.foe.org.au>>. Acesso em setembro de 2010.

MONCADA, E. A. Nanotechnology, food and drug packaging applications. **Vitae**, v. 14, n. 2, 2007.

PARK, H.J. Development of advanced edible coatings for fruits. **Trends in Food Science and Technology**, v. 10, p. 254-260, 1999.

PHILIP, D. Synthesis and spectroscopic characterization of gold nanoparticles. **Spectrochimica Acta Part A**, v. 71, p. 80-85, 2008.

RILEY, T. et al. Colloidal stability and drug incorporation aspects of micellar-like PLA-PEG nanoparticles. **Colloids and Surfaces**, v. 16, p. 147-159, 1999.

ROYAL SOCIETY AND ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (2004). **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties**. London: RS-RAE. Disponível em http://royalsociety.org/Report_WF.aspx?pageid=9692&terms=nanotechnologies>. Acessado em 14 out. 2010.

RUOFF, R. S.; LORENTS, D. C. Mechanical and thermal properties of carbon nanotubes. **Carbon**, v. 33, p.925-930, 1995.

SCRINIS, G.; LYONS, K. The emerging nano-corporate paradigm: nanotechnology and the transformation of nature, food and agri-food systems. **International Journal of Sociology of Food and Agriculture**, v. 15, n. 2, p. 22-44, 2007.

SIEGRIST, M. et al. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: the influence of affect and trust. **Appetite**, v. 49, p. 459-466, 2007.

SOZER, N.; KOKINI, J. L. Nanotechnology and its applications in the food sector. **Trends in Biotechnology**, v. 27, n. 2, p. 82-89, 2009.

TARVER, T. Scientific Status Summary synopsis. **Food Nanotechnology**, v. 60, n. 11, p. 22-26, 2006.

TIEDE, K. et al. Detection and characterization of engineered nanoparticles In food and the environment. **Food additives and contaminants**, v. 25, n. 7, p. 795-821, 2008.

WANG, K. K.; KOO, C. M.; CHUNG, I. J. Physical properties of polyethylene/silicate nanocomposite blown films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 89, p. 2131-2136, 2003.

WAYCHUNAS, G. A. Structure, aggregation and characterization of nanoparticles. **Nanoparticles Environmental**, v. 44, p. 105-166, 2001.

WEISS, J.; TAKHISTOV, P.; McCLEMENTS, D. J. Functional materials in food nanotechnology. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 9, p. 107-116, 2006.