

NANOTECNOLOGIAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Paulo Roberto Martins¹
Richard Domingues Dulley²
Soraia de Fátima Ramos³
Elizabeth Alves e Nogueira⁴
Marisa Zeferino Barbosa⁵
Roberto de Assumpção⁶
Sebastião Nogueira Junior⁷
André Luiz de Souza Lacerda⁸

Resumo: Em diversas áreas do conhecimento as inovações resultantes da alta densidade em Ciência e Tecnologia (C&T) ocorrem em ritmo cada vez mais acelerado, como as crescentes sofisticações das atividades relacionadas com a produção de alimentos. As pesquisas com nanotecnologias acenam para uma revolução tecnológica no setor, alterando a forma como o alimento é produzido, processado, embalado, transportado e consumido. O objetivo da pesquisa é aprofundar as reflexões sobre os possíveis impactos sócio-econômicos e ambientais decorrentes das nanotecnologias na indústria de alimentos. A interpretação das perspectivas dessas tecnologias contribuirá para o melhor esclarecimento sobre essa inovação nos sistemas agroindustriais.

1- Introdução

A trajetória da espécie humana no planeta Terra configura-se como um processo permeado de rupturas em relação aos limites e condições impostas pela própria natureza. A dissociação cada vez maior entre a sociedade e a natureza em seu estado original é intermediada pelo trabalho ou, no dizer de pensadores como Ellul (1968) e Santos (1994, 1996), pelo fenômeno técnico.

Nos últimos cem anos, mais do que em qualquer outra época, a humanidade desenvolveu um arsenal de técnicas capazes de intensificar a produção no campo e, por conseguinte, oferecer a possibilidade de produzir alimentos para um maior número de pessoas. Verificam-se daí as crescentes sofisticações das atividades relacionadas com a prática da agricultura. Desde as inovações tecnológicas para a realização da produção em si (correção de solos, irrigação e drenagem, melhoramento de variedades, entre outros) até os mecanismos de distribuição e circulação dos novos produtos (tipos de armazenagem e transporte dos produtos) até o consumo final (grandes redes de supermercados), há aceleração no ritmo de incorporação e difusão dessas novas tecnologias. Ao lado da nova materialidade

¹ Sociólogo, Doutor, Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). marpaulo@ipt.br

² Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador Científico do Instituto de Economia Agrícola (IEA). dulley@iea.sp.gov.br.

³ Geógrafa, Mestre, Pesquisadora Científica do IEA. soraia@iea.sp.gov.br.

⁴ Engenheira Agrônoma, Doutora, Pesquisadora Científica do IEA. enogueira@iea.sp.gov.br.

⁵ Economista, Pesquisadora Científica do IEA. mzbarbosa@iea.sp.gov.br.

⁶ Engenheiro Agrônomo, Mestre, Pesquisador Científico do IEA. rassumpcao@iea.sp.gov.br.

⁷ Engenheiro Agrônomo, Mestre, Pesquisador Científico do IEA. senior@iea.sp.gov.br.

⁸ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Bolsista FAPESP, alslacerda@biologico.sp.gov.br

subjacente aos novos sistemas de cultivo e alteração nos padrões de consumo, encontram-se inúmeras ações que, ao mesmo tempo, dão sustentação e decorrem desta artificialização da natureza (SANTOS, 1994).

“Na maior parte de nossa história nós sustentamos a nós mesmos pela caça e pela coleta: nós caçamos animais selvagens e apanhávamos plantas silvestres. É uma vida que os filósofos tem tradicionalmente considerado como sórdida, bruta, e limitada. Uma vez que nenhuma comida é cultivada e pouca pode ser armazenada, existe (nesta visão) nenhum momento de repouso para a constante luta que começa novamente todos os dias em busca de alimentos silvestres, para evitar o sofrimento da fome. Nossa fuga desta miséria foi facilitada somente há 10.000 anos atrás, quando em partes diferentes do planeta as pessoas iniciaram a domesticar plantas e animais. A revolução agrícola expandiu-se até hoje e é quase universal e poucas tribos sobrevivem no modelo caçador-coletor.” (DIAMOND, 1987:1).

A partir do aperfeiçoamento das tarefas no campo iniciado com a domesticação de plantas e animais há dez mil anos, passa-se, posteriormente, à mecanização da lavoura, seguida pelo uso dos insumos químicos decorrentes da chamada revolução verde e, mais recentemente, à biotecnologia e engenharia genética até atingirmos o futuro, antes inimaginável, com as nanotecnologias.

Há segmentos das atividades humanas nos quais o potencial revolucionário das nanotecnologias já se faz sentir como no da saúde, têxteis, materiais, as tecnologias de informação e comunicação. Muitos produtos possibilitados pelas nanotecnologias já estão no mercado, como as roupas anti-bacterianas, loções de filtros solares transparentes, tecidos tão resistentes quanto o aço, tintas para veículos que não arranham e janelas auto-limpantes.

Na indústria de alimentos, as pesquisas com nanotecnologias acenam para uma revolução tecnológica diante do potencial de aplicações, alterando a forma como o alimento é produzido, processado, embalado, transportado e consumido. O relatório do Nanoforum, elaborado por Joseph e Morrison (2006) resume e revela os aspectos chave dessas transformações, destacando as pesquisas atuais na indústria de alimentos e quais impactos futuros elas poderão ter.

Acerca dos possíveis impactos na indústria de alimentos, toma-se como referência o trabalho do ETC Group (Erosion, Technology and Concentration) (2005a), segundo o qual as nanotecnologias consistem em *“tecnologias com potencial de revolucionar e mais adiante consolidar o poder sobre a oferta global de alimentos”*.

As atuais reflexões sobre o uso das nanotecnologias em produtos industriais, especialmente em alimentos, ainda suscitam enormes dúvidas sobre os reais benefícios ou possíveis malefícios em relação à adoção desta inovação. Urge, portanto, a realização de investigações críticas que tenham a preocupação em averiguar a maneira como esta nova tecnologia está sendo disseminada à sociedade, tal como nos lembra Rattner (2005).

Os produtos gerados através da nanotecnologia, ao lado dos plantios e alimentos geneticamente modificados, exemplificam controvérsias e acirrados debates tanto no meio acadêmico quanto fora da comunidade científica. Entretanto, é premente a participação mais ampla da sociedade no processo decisório sobre as aplicações da ciência e tecnologia, em função de seus impactos cada vez mais presentes na vida das pessoas (MASSARANI, 2005). A participação mais efetiva da sociedade na definição dos rumos do desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia no Brasil é defendida por Martins et al. (2007), segundo os quais

deve haver uma maior interação da comunidade científica com a sociedade civil organizada.

A pesquisa tem por objetivo aprofundar as reflexões sobre os possíveis impactos sócio-econômicos e ambientais decorrentes das nanotecnologias na indústria de alimentos. O método é o de levantamento das informações primárias, por meio de entrevistas qualitativas junto aos agentes que compõem o setor. A interpretação das perspectivas das nanotecnologias contribuirá para o melhor esclarecimento sobre essa inovação nos sistemas agroindustriais.

2 - As Nanotecnologias

As nanotecnologias podem ser apresentadas em duas formas. Na primeira delas, essa tecnologia se caracteriza através de dois aspectos principais. O primeiro se refere ao prefixo nano, que é indicador de medida. Um nano significa a bilionésima parte de um metro, ou seja, 10^{-9} metros. Portanto, nanotecnologia se refere somente a escala e não a objetos, como por exemplo a biotecnologia, onde o prefixo bio significa vida. O segundo aspecto é que nanotecnologia se refere a uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala de átomos e moléculas que para serem enxergadas requerem microscópios especiais (STM e SPM).

A segunda forma de apresentarmos a nanotecnologia se refere a considerar primeiro a nanociência como o estudo dos princípios fundamentais de moléculas e estruturas com uma dimensão entre 1 a 100 nm (nanômetros). A nanotecnologia seria então a aplicação dessas moléculas e nanoestruturas em dispositivos nanométricos. As partículas nano embora sendo do mesmo elemento químico se comportam de forma distinta – em relação as partículas maiores – em termos de cores, propriedades termodinâmicas, condutividade elétrica, etc. Portanto, o tamanho da partícula é de suma importância porque muda a natureza das interações das forças entre as moléculas do material e assim, muda os impactos que estes processos ou produtos nanotecnológicos têm junto ao meio ambiente, a saúde humana e a sociedade como um todo.

Duas são as técnicas para se criarem nanoestruturas, com variados níveis de qualidade, velocidade e custos. Elas são conhecidas como “Botton-up” (baixo para cima) e “Top-down” (cima para baixo). É preciso realçar que nos anos recentes a tendência de convergência entre estas técnicas está em curso.

No que toca a técnica “Botton-up” ela proporciona a construção de estruturas átomo por átomo ou molécula por molécula mediante três alternativas a saber:

- a) síntese química (chemical Synthesis), em geral utilizada para produzir matérias-primas, nas quais são utilizadas moléculas ou partículas nano;
- b) auto-organização (self assembly), 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 (positional assembly). Neste caso, átomos e moléculas são deliberadamente manipulados e colocados em determinada ordem, um por um.

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 em um chip por exemplo. Isto é feito mediante dois caminhos:

engenharia de precisão ou litografia. A indústria de semicondutores vem realizando isto nos últimos 30 anos.

A idéia de que a matéria é composta por átomos já tem cerca de 2400 anos, quando o filósofo grego Demócrito defendia esta tese. Mas somente no final da década de 50 do século passado é que temos um fato que marca o início da Nanotecnologia em nossos tempos. O físico Norte Americano Richard Phillips Feynman fez uma conferência no dia 29 Dezembro de 1959, em uma reunião da Sociedade Americana de Física realizada no Instituto de Tecnologia da Califórnia - Caltech- , denominada "There's Plenty of Room at the Bottom " (Há muito espaço lá em baixo). A primeira publicação desta conferência se deu em fevereiro de 1960 no Caltech's Engineering and Science⁹. Nesta palestra Feynman afirmava que "Os princípios da física não falam contra a possibilidade de se manipular as coisas átomo por átomo". Apontou também para o que seria, a seu ver, a principal barreira para a manipulação na escala nanométrica: a impossibilidade de vê-la.

A IBM, 22 anos após a palestra de Feynman, em 10 de Agosto de 1982, consegue a patente do denominado Microscópio de Varredura de Tunelamento Eletrônico (Scanning Tunneling Microscope – STM) que permite a visualização de imagens em tamanho nano. A partir deste microscópio outro foi desenvolvido, levando o nome de Microscópio de Microsondas Eletrônicas de Varredura (Scanning Probe Microscopes – SPM), que permite visualizar e manipular átomos e moléculas.

O termo Nanotecnologia foi primeiro utilizado pelo Prof. Norio Taneguchi, da Universidade de Ciência de Tóquio. Ele usou este termo para descrever a fabricação precisa de novos materiais com tolerâncias nanométricas. Nos anos 80 este termo adquire nova conotação devido a publicação do livro de Dexler (1986), intitulado "Engines of Creation – The New Era of Nanotechnology". Em 1991, com a publicação da tese de doutorado deste mesmo autor, defendida no Massachusetts Institute of Technology – MIT - e cujo título é "Nanosystems: Molecules Machinery, Manufacturing and Computations" a nanotecnologia ganha novo impulso na comunidade científica.

A bibliografia em nanotecnologia já é bastante intensa e heterogênea. Para uma síntese do debate podemos utilizar o trabalho de Wood (2003). Em grandes blocos o debate pode ser referenciado em termos dos que acreditam ser as nanotecnologias portadoras de radical descontinuidade, enquanto os opositores a esta idéia advogam que as nanotecnologias apresentam somente uma continuidade evolucionária de outras tecnologias. Entre estes dois extremos também temos vários autores.

Entre os defensores da radical descontinuidade podemos citar K.Eric Dexler, Jamie Dinkelacker, The Foresight Institute, Bill Joy, Glenn Harlan Reynolds, Damien Broderick, Mark Suchman. A este conjunto de autores poderíamos denominá-los de "nano-otimistas".

No campo oposto temos os evolucionistas, cujos expoentes entre outros estão George Whitesides, Richard E. Smalley, Philip Ball, Denis Laveridge, Gary Stix. Estes podem ser denominados de "nano-pessimistas". Entre os dois grupos acima comentados estão as instituições promotoras das nanotecnologias e os comentadores da tecnologia.

As entidades promotoras encontram-se localizadas em diversos governos e em indústrias como, por exemplo, o Departamento de Comércio e Indústria da

⁹ O texto completo encontra-se disponível no site <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.

Inglaterra, Direção de Tecnologias Industriais da Comissão Européia, National Nanotechnology Initiative e National Science Foundation, ambos do governo dos Estados Unidos. Entre os comentadores de tecnologia podemos indicar o mais importante deles que é a ONG canadense denominada ETC Group. Também, Debra R. Rolinson do laboratório de pesquisa naval e Vick Colvin da Rice University estadunidenses completam esta pequena lista de comentadores. Deste rol de autores e instituições indicados vamos detalhar um pouco mais as contribuições do Prof. Mark Suchman e do ETC Group. Estas idéias encontram-se expostas de maneira ampla em Martins (2005) e Grupo ETC (2005b).

Para Suchman (2002) existem dois tipos de nanotecnologias. Aquelas que proporcionam descontinuidades tecnológicas discretas (nanates) e as que têm um caráter disruptivo, revolucionário (nanites). No primeiro caso, a sociedade tem experiência anterior em lidar com este desenvolvimento tecnológico. No segundo caso, não existe experiência prévia por parte da sociedade.

Por nanates devemos entender as tecnologias que manipulam estruturas em nanoescala de substâncias em macroescala. Ou dito de outra forma, substâncias em macroescalas que são manipuladas por tecnologias que interferem nas suas nanoestruturas. Então essas são as nanates o que segundo o autor estão referenciadas aos nanomateriais. Exemplos: polímeros resistentes usados em cintos de segurança, pneus, membranas ultrafinas para filtros. As nanates encontram-se ligadas às engenharias químicas e de materiais.

Por nanites devemos entender tecnologias que constroem mecanismos em nanoescala para serem usados em ambientes de macroescala, tais como sistemas de vigilância em miniatura e equipamentos para exploração de minas. Nanites estão referenciadas a nanomáquinas, a engenharia mecânica e a robótica.

Segundo Suchman (2002), pode-se afirmar que de maneira geral as nanates não colocam desafios sem precedentes para a nossa sociedade. No particular poderá ocorrer que algum novo material possa colocar alguma mudança, como células fotovoltaicas que acabariam com a necessidade de petróleo como fonte de energia.

Quanto às implicações sociais da nanites, Suchman alerta que irão confrontar a sociedade com questões políticas profundas, ao permitir que os humanos manipulem o mundo numa dimensão sem precedentes. As nanomáquinas abrem uma nova fronteira em que não há regulamentação para tornar segura e produtiva esta atividade. Nanites apresentam qualidades e propriedades distintas que irão gerar novas questões de responsabilidade e controle. Estas estarão ligadas a três itens: o primeiro deles é a invisibilidade. Embora seja diretamente ligada à nanotecnologia, a invisibilidade estará ligada a primeira construção complexa e engenheirada de forma intencional, tornando-se, portanto, um cúmplice dos propósitos humanos para uma série de atividades para as quais foram produzidas. O segundo item é a locomoção. Embora seja menos inerente à nanotecnologia do que a invisibilidade, terá um efeito intenso nas questões das barreiras, já que as nanopartículas poderão ultrapassar cercas, muros, pele humana, células, etc. E o terceiro é a auto-replicação, posto que a criação de nanites auto-replicáveis será a prova mais difícil revolução da nanotecnologia.

“A auto-replicação é importante do ponto de vista econômico para a produção em massa de nanomáquinas. Portanto, esta propriedade de se auto-replicar acaba por se tornar significativa. Por outro lado, são colocadas profundas dúvidas sobre a capacidade de previsão e controle por parte dos humanos sobre as nanomáquinas, que poderão se multiplicar sem controle, sem terem como serem desligadas. A invisibilidade, a locomoção e a auto-replicação poderão ser

potencializadas se nanites possuírem a capacidade de operar de forma autônoma e se auto-modificarem” (MARTINS, 2005).

3 - Nanotecnologias na indústria de alimentos

As nanotecnologias têm sido descritas como uma nova revolução industrial tanto nos países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento, diante dos investimentos nesta tecnologia de modo a assegurar uma parcela do mercado. Atualmente os Estados Unidos lideram esse *ranking* com um programa de 4 anos, com recursos de US\$3,7 bilhões, através da sua National Nanotechnology Initiative (NNI). Em seguida vêm o Japão e a União Européia, com substanciais recursos financeiros, respectivamente, de US\$750 milhões e US\$1,2 bilhões anuais.

O patamar de financiamento nos países em desenvolvimento pode ser comparativamente menor, mas isso não reduz desses aportes no estágio global. Por exemplo, a parcela da China nas publicações acadêmicas sobre nanociência e tópicos de engenharia subiu de 7,5% em 1995 para 18,3% em 2004 elevando o país da quinta para a segunda posição. Quatro outros países como a Índia, Coreia do Sul, Iran e Tailândia também investiram focando em aplicações específicas para as suas necessidades e seu crescimento econômico.

O Irã focou seu programa na nanotecnologia aplicada à agricultura e indústria de alimentos. O país já desenvolveu seu primeiro produto nanotecnológico comercial denominado Nanocid, que é um poderoso antibactericida com potencial de aplicação na indústria de alimentos. A Índia destinou cerca de US\$22,6 milhões ao setor em 2006.

Um recente estudo da consultoria Helmuth Kaiser prediz que o mercado de nanoalimentos cresça de US\$2,6 bilhões para US\$20,4 bilhões por volta de 2010. O relatório sugere que com mais de 50% da população mundial, o maior mercado para nanoalimentos estará na Ásia liderado pela China.

Mais de 400 companhias no mundo estão atualmente ativas quanto a pesquisas e desenvolvimento em nanotecnologias e há expectativa de que esse número se eleve para 1.000 nos próximos dez anos.

Uma estimativa feita pela Business Communications Company sobre o mercado tecnológico na indústria revela que o mercado para as nanotecnologias era de 7,6 bilhões de dólares em 2003 e espera-se que seja de um trilhão de dólares. Entretanto, o potencial total das nanotecnologias na agricultura e indústria de alimentos ainda não foi estimado.

Na visão da União Européia os novos desafios determinados pela crescente demanda por alimentos saudáveis e seguros, assim como pelas ameaças à produção agrícola e pesqueira frente às mudanças nos padrões climáticos induz a criação de uma bioeconomia, num processo complexo e desafiador envolvendo a convergência de diversos ramos da ciência (COMISSÃO EUROPEIA, 2004).

A definição de nano alimento é a das técnicas ou ferramentas nanotecnológicas usadas durante o cultivo, produção, ou embalagem do alimento. Não significa que são alimentos atômicamente modificados ou alimentos produzidos por nanomáquinas. Entretanto, há pensamentos ambíguos de se criar alimentos moleculares usando nanomáquinas o que é considerado irrealístico num futuro próximo.

No segmento da indústria processadora de alimentos, por exemplo, poder-se-ia considerar a nanofábrica, que no limite dispensaria a mão-de-obra especializada e

uma grande infra-estrutura, atualmente necessárias, mas que contasse com uma fonte química e uma fonte de energia capazes de produzir uma grande variedade de produtos¹⁰. A aplicação das nanotecnologias poderia implicar, por hipótese, a eliminação das fábricas e dos demais elos que compõem as cadeias produção, uma vez que as matérias-primas poderiam ser transformadas diretamente de acordo com o produto final necessário. A eliminação de postos de trabalho poderia ser classificada como desemprego em cadeia, com agravamento de problemas sociais.

Há ainda a possibilidade de a partir de um mesmo grão de soja, como exemplifica Mattoso et al. (2005), extraírem-se seus derivados, como óleo comestível e combustível, leite, etc. Nessa hipótese, as plantações em grandes áreas, característica da sojicultura em boa parte dos países produtores, não seriam mais necessárias, do mesmo modo que os segmentos a jusante da cadeia produtiva. Talvez, um novo tipo de produção e de organização produtiva tenha que ser pensados.

Pelo contrário, os nanotecnologistas são mais otimistas em relação ao potencial para mudar o atual sistema de produção agrícola e assegurar a segurança dos alimentos produzidos, criando um cultivo saudável desses alimentos. São também esperançosos de melhorar a qualidade nutricional através da adição de aditivos e na forma como o corpo digere e absorve o alimento. Ainda que alguns dessas metas ainda estejam longe de ocorrer, as indústrias de embalagens já incorporaram a nanotecnologia em seus produtos.

Ainda no segmento de processamento da soja, um avanço da maior relevância a ser conquistado e que poderia trazer benefícios em curto prazo seria a obtenção de um processo alternativo para extração de óleos vegetais em substituição ao hexano - derivado do petróleo - que é o solvente atualmente utilizado, mas que apresenta sérias restrições à saúde além de apresentar um grande potencial explosivo.

O impacto da nanotecnologia na indústria de alimentos se tornou mais aparente nos últimos anos com a organização de conferências dedicadas a esse tópico, iniciando uma combinação entre alimentos melhores e seguros. Várias companhias que hesitavam em revelar seus programas de pesquisa em nano alimentos, agora as tornam públicas, anunciando planos para melhorar os existentes e o desenvolvimento de novos, com vistas a manter a sua presença no mercado. Essas aplicações incluem: alimentos por demanda, e alimentos interativos e embalagens inteligentes.

As nanotecnologias podem ser aplicadas em alimentos funcionais, os quais respondem às demandas do corpo e podem distribuir nutrientes de modo mais eficiente. Vários grupos de pesquisas estão trabalhando para desenvolver novos alimentos “por demanda”, os quais permanecem inertes no corpo e liberam os nutrientes para as células quando for necessário. Um elemento chave neste setor é o desenvolvimento de nanocápsulas que podem ser incorporadas aos alimentos para distribuírem nutrientes, tais como os nutracêuticos que incluem o licopeno, beta-caroteno, luteína, fitoesteróis, e outros.

Nesse segmento a soja se destaca por ser reconhecida como a matéria-prima mais versátil para alimentos funcionais, segundo Yim (2002), apud Lima Filho et al. (2005). De acordo com Salgado (2007) essa característica decorre de componentes como as isoflavonas que têm ação estrógena, os flavonóides que têm propriedades

¹⁰Disponível

em:

<http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia_responsavel/nanotecnologia_beneficios_solucao_humanidade.htm>. Acesso em: outubro, 2006.

anti-cancerígenas e as proteínas que atuam na redução do colesterol. Dentre os alimentos à base da oleaginosa, além do farelo e óleo, tem-se farinha, leite, proteínas isolada e texturizada, queijo, shoyo, missô, etc., e o próprio grão consumido “in natura” que é excelente fonte de vitaminas do complexo B (CODEAGRO, 2004). Tais produtos têm merecido a atenção de empresas, sobretudo multinacionais que passam a apostar neste filão, como agregação de valor a *commodity*. O teor de flavonóides presentes no grão da soja poderia ser aumentado propiciando a obtenção de derivados com menores custos e maior eficiência na sua utilização. Melhorias de conversão alimentar em proteínas no caso de animais e de alimentos funcionais e nutracêuticos para humanos são assuntos a serem investigados e com prováveis sucessos diante da dinâmica utilização desses produtos na atualidade.

A idéia de alimento interativo consiste em permitir ao consumidor modificar as características do alimento, em função de suas necessidades de nutrição ou de sabor. O conceito é o de milhares de nanocápsulas contendo melhoradoras de sabor, cor, ou aditivos de elementos como vitaminas, que permaneceriam dormentes dentro do alimento e só seriam liberados pela ação do mesmo. Empresas gigantes do ramo como a Nestlé, Kraft, Heinz, e Unilever desenvolvem essas pesquisas buscando capturar uma parte do mercado de alimentos na próxima década.

Nanoformulações para a produção de alimentos à base de carne, como os embutidos, que requerem numerosos aditivos para a preservação e estabilização da cor e sabor dos alimentos já são utilizados pela empresa alemã Aquanova desde 2006. A companhia também desenvolve, através das nanotecnologias, um sistema de encapsulamento de ingredientes como vitaminas C e E (MILLER e SENJEN, 2008).

A BioDelivery Sciences International (BDSI) tem desenvolvido nanopartículas derivadas da 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, 2005a).

A empresa australiana Weston Foods desenvolveu um pão com microcápsulas de óleo de atum, rico em ômega-3, mas com sabor desagradável, que são programadas para a liberar o componente apenas em contato com o estômago.

A Unilever está desenvolvendo um sorvete com baixo teor de gordura através da redução do tamanho das partículas da emulsão. Esperam com isso usar 90% menos emulsão e reduzir o teor de gordura de 16% para 1%.

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 e MORRINSON, 2006).

3.1 - Nanotecnologias em Embalagens de Alimentos

Desenvolver embalagens inteligentes para otimizar a vida dos produtos nas prateleiras é o que tem sido o objetivo de muitas firmas. Esses sistemas de embalagens seriam capazes de reparar buracos ou rasgos, responder às alterações ambientais como temperatura, umidade, etc., e alertar o consumidor se a comida

estiver contaminada. As nanotecnologias podem apresentar soluções para, por exemplo, modificar o desempenho de permeação de membranas, aumentar as propriedades de barreira (mecânica, térmica, química e microbiana), melhorar as propriedades de resistência ao calor, desenvolver superfícies ativas anti-fúngicas e antimicrobianas, assim como a capacidade sensorial tais às alterações.

As perspectivas financeiras para as embalagens nanotecnológicas são muito boas, pois atualmente gira em torno de 1,1 bilhão de dólares e espera-se que chegue a 3,7 bilhões por volta de 2010. Essa indústria está crescendo mais rápida do que o previsto e já dá sinais de ter atingido a maturidade. Pesquisa da empresa financeira Frost and Sullivan verificou que os consumidores atualmente demandam muito mais das embalagens em termos de proteção à qualidade, frescura e segurança dos alimentos. Concluíram que esta é uma das principais razões pelas quais cresceu o interesse em métodos inovativos de embalagens.

Sistemas de embalagens inteligentes, com uma língua eletrônica que consiste num conjunto de nanosensores, extremamente sensíveis a gases liberados pelos alimentos, conforme a deterioração, fazendo com que o sensores alterem uma faixa de cor, estão em desenvolvimento pela Kraft, junto com pesquisadores da Universidade de Rutgers nos Estados Unidos.

A Bayer Polímeros desenvolveu o filme para embalagens Duretano KU2-2601 que é mais transparente e resistente do que os existentes no mercado. Esse produto é conhecido como “sistema híbrido” que é 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.

As cervejarias idealmente utilizariam garrafas plásticas, pois seriam mais leves e baratas do que as latas. Entretanto, o álcool da bebida reage com o plástico, o que reduz severamente sua validade. Duas empresas desenvolveram um nanocomposito contendo nanopartículas de argila nanocomposito chamada IMPERM. A garrafa resultante é mais leve e forte do que a de vidro. A estrutura do nanocomposito minimiza a perda de dióxido de carbono da cerveja e o ingresso de oxigênio na garrafa, mantendo a cerveja mais fresca e dando-lhe uma validade de seis meses na prateleira. A tecnologia foi adotada por muitas empresas.

Outras organizações estão buscando formas pelas quais as nanotecnologias possam oferecer melhoria na sensibilidade ou facilidade para a detecção da contaminação de alimentos. A empresa AgroMicron desenvolveu um spray nano luminescente que contém uma proteína que denuncia a presença de micro organismos como a salmonela. No contato do microorganismo com o spray um *glow* brilha mais forte. Quanto maior o brilho maior a contaminação. O produto vai chamar-se Biomark e poderá ser uma arma contra o bioterrorismo.

Dentro da mesma estratégia, pesquisadores americanos desenvolveram um nanosensor portátil para detectar químicos, patógenos e toxinas em alimentos. Dessa forma, os alimentos poderão ser testados sem o envio de amostra para laboratórios que são caros e demorados. Também estudam dispositivos que utilizam nanochips de DNA para detectar patógenos. Ademais, buscam um dispositivo que identifique a presença de resíduos químicos em frutas e vegetais e que permita o monitoramento ambiental das fazendas que denominam “sensores do bom alimento”.

As nanotecnologias podem ser aplicadas no monitoramento e etiquetagem dos alimentos. A tecnologia de identificação pela radiofrequência foi desenvolvida pelos militares há mais de 50 anos, mas não teve aplicações. Agora, entretanto, há numerosa, como nos supermercados. Essa tecnologia consiste em microprocessadores e uma antena que transmite dados para um receptor sem fio e pode seguir um produto do armazém até as mãos do consumidor. Diferentemente do código de barras que tem que ser “escaneado” manualmente e individualmente, as etiquetas RFID possibilita a leitura automática de centenas delas por segundo. Cadeias de supermercados como a Wal-Mart, Tesco e outras já testaram essa tecnologia e a perspectiva é de que se torne cada vez mais acessível em termos de custo e de eficiência.

No Reino Unido a “Food Standards Agency (FSA)” desenvolveu estudos para conhecer as potenciais aplicações das nanotecnologias nos alimentos e em especial nas embalagens e também em pesquisas que incluem o desenvolvimento de alimentos funcionais, sistemas de distribuição de nutrientes, métodos para otimizar a aparência dos alimentos com cor, sabor e consistência.

Um grupo de cientistas das indústrias de alimentos do Norte da Europa criou um consórcio com o objetivo de prever as aplicações das nanotecnologias na indústria de alimentos de maneira responsável. As prioridades desse consórcio são: desenvolver sensores que possam revelar quase que instantaneamente se uma amostra de alimento contém compostos tóxicos de bactérias, desenvolver superfícies anti-bacterianas para máquinas envolvidas na produção e a criação de alimentos com melhor valor nutritivo.

No Brasil, as principais linhas de pesquisas sobre aplicações das nanotecnologias na agricultura e alimentos são conduzidas pelo Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), como seguem: a) sensores e biossensores voltados para qualidade, certificação e rastreabilidade de alimentos; b) caracterização e síntese de novos materiais, em especial polímeros e materiais nanoestruturados com propriedades específicas; c) filmes finos e superfícies, usados em embalagens inteligentes, comestíveis e superfícies ativas; d) nanopartículas, compósitos e fibras, para reforço de materiais e uso em produtos naturais como fibras de sisal, juta, coco e outras para aplicações industriais; e) nanopartículas orgânicas e inorgânicas que possam ser utilizadas em processos de liberação controlada de nutrientes e pesticidas em solos e em plantas, e de fármacos para uso veterinário; f) nanobiotecnologia aplicada na caracterização de material genético e nanomanipulação gênica e; g) caracterização de materiais de interesse do agronegócio, como partículas de solos, plantas, bactérias e patógenos¹¹.

4 – Riscos Potenciais das Nanotecnologias

Um aspecto altamente relevante aplicado à nanotecnologia, e nesse caso torna-se essencial o *princípio da precaução*, deverá ser as implicações na saúde humana. Os organismos vivos irão ingerir alimentos que ainda não sabemos sobre a existência ou não de efeitos negativos no médio e longo prazo. Esse aspecto exige uma atenção maior quando comparado ao uso em máquinas e equipamentos (fibras ótica, lentes de óculos, etc.) que não apresentam riscos dessa natureza.

¹¹ Declarações do Dr. Ladislau Martin Neto em 2 de maio de 2006, diretor da EMBRAPA Instrumentação Agropecuária. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/report/entre-ladislau.shtml>. Acesso em 03/08/07.

“A aplicação desse princípio tem por objetivo, precisamente, tratar de situações ambivalentes, como a de considerar legítima a adoção por antecipação de medidas relativas a uma fonte potencial de danos, sem esperar que se disponha de certezas científicas quanto às relações de causalidade entre a atividade em questão e o dano temido” (ROMEIRO, 1999: 96).

Nesse sentido, Miller e Senjen (2008) alertam sobre a crescente aplicação das nanotecnologias na produção de alimentos, por meio de nanopartículas, nanoemulsões e nanocápsulas no processamento e embalagens dos alimentos, sem a devida regulação. 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. Exemplos são as nanopartículas de prata, dióxido de titânio e óxido de zinco, utilizados em suplementos nutricionais e em embalagens, mas que apresentaram elevada toxicidade para células. Estudos voltados ao meio ambiente também sugerem que essas substâncias possam contaminar a água.

Tais preocupações decorrem do fato de que o “pequeno” tamanho das partículas implica novas propriedades das nanopartículas, tais como a de intensificar as reações químicas e as atividades biológicas, além da maior capacidade de acessar as células. Outros riscos detectados por experiências *in vitro* compreendem 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 e SEJEN, 2008).

De modo geral, é impossível a efetiva prevenção dos possíveis efeitos dos nanomateriais sobre a saúde humana e o meio ambiente, conforme Maynard (2006) apud (MILLER e SEJEN, 2008). Diante dos riscos potenciais associados às aplicações das nanotecnologias na agricultura e nos alimentos, Miller e Senjen (2008) defendem uma moratória no desenvolvimento de produtos alimentícios, embalagens e agroquímicos até que a segurança específica das nanotecnologias seja discutida e regulamentada sob os seguintes aspectos: a) nanomateriais devem ser regulados como novas substâncias; b) ampliação da definição de nanomateriais; c) transparência na avaliação quanto à segurança dos nanomateriais; d) rotulagem dos produtos; e) maior envolvimento da sociedade nas discussões, tanto do ponto de vista da segurança, quanto para a sustentabilidade da produção agrícola e de alimentos.

As controvérsias relativas às nanotecnologias podem ser captadas nos trabalhos do Grupo ETC (2005b), onde uma síntese dos diversos problemas é apresentada, a começar pelo impacto desta tecnologia nas economias dos países do hemisfério sul, na vida das pessoas, na segurança, na saúde humana, no meio ambiente, nos direitos humanos, nas políticas sociais, na agricultura e nos alimentos.

“Ao permitir que produtos da nanotecnologia cheguem ao mercado na ausência de debate público e sem regulamentação, os governos, o agronegócio e as instituições científicas já comprometeram o potencial das tecnologias em escala nanométrica de serem utilizadas de forma benéfica. O fato de não haver, atualmente, em qualquer parte do mundo, normas de regulamentação para avaliar novos produtos em escala nanométrica na cadeia alimentar representa uma inaceitável e culposa negligência. (...) Devem ser tomadas medidas para restaurar a confiança nos sistemas alimentares e para se ter certeza de que as tecnologias em escala

nanométrica, se introduzidas, sejam feitas sobre rigorosos padrões de saúde e segurança.” (ETC Group, 2005b:157-158).

Prováveis impactos negativos da aplicação das nanotecnologias na agricultura e nas diversas cadeias de produção são apresentados por Ribeiro (2006), para os quais enfatiza a necessidade de regulamentação e de estudos sobre os usos/efeitos, em especial, os toxicológicos da tecnologia, tais como: a) a liberação de nanopartículas no meio ambiente; b) a exposição prolongada dos trabalhadores; c) permanência de nanopartículas na cadeia alimentar e; d) tendência de redução no nível de emprego nas fazendas, decorrente da implementação dos campos inteligentes.

Embora ainda seja incipiente a discussão sobre os impactos negativos das nanotecnologias sobre o meio ambiente e saúde, o United States Environmental Protection Agency (EPA) relata a constatação da presença de nanopartículas no fígado de animais usados em pesquisas. Segundo a Agência, as nanopartículas podem vazar em células vivas e, provavelmente, entrar na cadeia alimentar por meio de bactérias. O EPA enfatiza, ainda que indústrias e governos têm divulgado as nanotecnologias incluindo a nanobiotecnologia como a maior e a mais rápida revolução industrial, mas que, no entanto, é necessário empenho para que as preocupações relativas à saúde e ao meio ambiente não se desviem do progresso das nanotecnologias (NANI, 2002).

Martins (2006:128-129) ressalta a importância das discussões sobre a sustentabilidade da sociedade, do ponto de vista ambiental e econômico, frente aos impactos dos principais avanços tecnológicos, os quais significam a construção de uma *“nova natureza”*: a) a quebra da barreira entre as espécies com a introdução de genes, proporcionada pela biotecnologia; b) a quebra da barreira entre orgânico e inorgânico proporcionada pela nanotecnologia e; c) a construção de novos materiais a partir de elementos químicos naturais e sintéticos proporcionada pela nanotecnologia”. Sob o aspecto econômico o autor sugere reflexões acerca da possibilidade das nanotecnologias serem antidistributivas, uma vez que as pesquisas nessa área são caras e complexas, dificilmente acessíveis a pequenas organizações. Isso implicaria na intensificação do poder de monopólio das grandes corporações, que já são as que aportam investimentos às pesquisas em nanotecnologias.

Esta também é uma das preocupações de Mooney (2006), nos alertando sobre a concentração de poder nas mãos das grandes empresas em relação aos processos decisórios e à utilização da nanotecnologia.

5 – Considerações Finais

Sejam quais forem os impactos das nanotecnologias na indústria de alimentos, as preocupações quanto ao uso de nanopartículas trazem os mesmos questionamentos surgidos com a biotecnologia. Há que se alterar a atual legislação que não obriga a rotulagem desses produtos. Nesse sentido, o Grupo ETC solicitou uma moratória para as nanotecnologias nos alimentos.

O cenário futuro da produção agrícola e industrial aponta a necessidade de intervenção do Estado por meio da elaboração de políticas públicas, aliado à participação da sociedade como um todo, no sentido de acompanhar e estar à frente do processo de regulamentação das novas tecnologias, sobretudo, para aquelas que trazem em seu bojo impactos imprevisíveis, tais como a nanotecnologia.

Ainda que a aplicação prática dessa tecnologia ainda esteja longe no futuro, espera-se que possa permitir processos de produção agrícola mais eficientes e sustentáveis, nos quais menos insumos sejam necessários e o alimento seja de maior valor nutricional e de melhor qualidade.

A preocupação que se tem com esta pesquisa e com as que poderão ser desenvolvidas no campo da agricultura e produção de alimentos, é de que estejam adequadas às condições econômicas sociais e ambientais do Brasil distanciando-se dos interesses mais próximos dos países já desenvolvidos que dominam amplamente o cenário das pesquisas no campo das nanotecnologias em geral.

E, finalmente, considera-se que será possível no futuro não tão longínquo a produção de alimentos a partir de átomos e moléculas, uma vez que já há pesquisas nesse sentido, mas ainda numa abordagem “top-down”, ou seja, usando células ao invés de moléculas. Embora a aplicação prática da tecnologia “bottom up” ainda esteja num futuro mais distante, os “nanootimistas” esperam que possa permitir processos de produção agrícola mais eficientes e sustentáveis, nos quais menos insumos sejam necessários e o alimento seja de maior valor nutricional e de melhor qualidade, sem que deixe de lado as considerações com os seus impactos econômicos, sociais e ambientais.

6 – Literatura Citada

COMISSÃO EUROPÉIA. *Nanotechnology: innovation for tomorrow's world*. Bruxelas: Directorate General for Research, 2004.

COORDENADORIA DE DESENVOLVIMENTO DOS AGRONEGÓCIOS - CODEAGRO. *Soja: nutrição e sabor*. São Paulo, 2004, 50p.

DEXLER, K.E. *Engines of creation: the coming era of nanotechnology*. New York: Anchor Book, 1986, 289p.

_____. *Nanosystems: molecules, machinery, manufacturing and computations*. New York: John Wiley and Sons, 1991, 556p.

DIAMOND, J. (1987) O pior engano na história da raça humana. *Discovery magazine*. Trad. José Carlos B. Peixoto em 18/01/2006.

ELLUL, J. *A técnica e o desafio do século*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1968, 1 ed. 1954. 445p. Trad. Roland Corbisier.

ETC GROUP. (2005a) *Down on the farm*. Disponível em: <http://www.etcgroup.org/documents/NR_DownFarm_final.pdf>. Acesso em: maio 2006.

_____. *Nanotecnologia: os riscos da tecnologia do futuro*. Porto Alegre: L&PM Editores, 2005b. 197p.

JOSEPH, T.; MORRISON, M. *Nanotechnology in agriculture and food*. Disponível em:

<http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~377~.html?action=longview_publication&>. Acesso em: julho de 2006.

LIMA FILHO, D.O. et al. Alimentos funcionais: construção de conceitos e disponibilidade de lácteos nos supermercados de Campo Grande, Estado de Mato Grosso do Sul, 2004. *Informações Econômicas*, SP, v.25, n.11, p.7-17, nov. 2005.

MARTINS, P.R. (org.) *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*. I Seminário Internacional. São Paulo: Associação Editorial Humanitas, 2005.

_____. Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável. In: _____ (org.). *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente – II Seminário Internacional*. p.114-132. São Paulo: Xamã V.M. Editora, 2006.

_____ et al. *Revolução invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil*. São Paulo: Xamã, 2007. 103p.

MASSARANI, L. Ciência, tecnologia, parlamento e os diálogos com os cidadãos. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*. Rio de Janeiro, v.12, n.2, p.469-72, maio-ago, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hcsm/v12n2/11.pdf>>. Acesso em: março de 2007.

MATTOSO, L.H.C. et. al. A revolução nanotecnológica e o potencial para o agronegócio. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, Ano XIV, n.4, p.38-46, out./nov./dez., 2005.

MILLER, G.; SENJEN, R. *Out of the laboratory and on to our plates: nanotechnology in food & agriculture*. Disponível em: <<http://nano.foe.org.au>>. Acesso em: março de 2008.

MOONEY, P. Congresso de agroecologia debate a nanotecnologia. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.19, n.2, 35-37p., jul. 2006. Entrevista concedida a Juliana Wilke e Paulo Sergio Tagliari.

NANI, S. (2002). *Vantagens e riscos da nanotecnologia ao meio ambiente*. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/framereport.htm>>. Acesso em: setembro de 2007.

RATTNER, H. Nanotecnologia e a política de ciência e tecnologia. *Revista Espaço Acadêmico*. n. 55, dez, 2005. 14p.

RIBEIRO, S. O impacto das tecnologias em escala nano na agricultura e nos alimentos. In: MARTINS, P.R. (Org.) *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente*. São Paulo: Xamã, p.197-204, 2006 (Trabalho apresentado no 2º Seminário).

ROMEIRO, A. R. *Desenvolvimento sustentável e mudança institucional: notas preliminares*. Textos para Discussão, n. 68. IE/Unicamp, 1999.

SALGADO, J.M. *Alimentos funcionais*. Disponível em:
<http://www.sbaf.org.br/sbaf/_alimentos/200506_Alimentos_Funcionais.htm>.
Acesso em: agosto 2007.

SANTOS, M. *Técnica, Espaço, Tempo: globalização e meio técnico-científico-informacional*. São Paulo: Hucitec, 1994. 190p.

_____. *A natureza do Espaço: razão e emoção*. São Paulo: Hucitec, 1996. 392p.

SUCHMAN, M.C. Social Science and Nanotechnology. In: *Nanotechnology: Revolutionary Opportunities & Societal Implications*. EC-NSF 3rd Joint Workshop on Nanotechnology. Lecce, Italy, 2002.

WOOD, S.J. *The social and economic challenges of nanotechnology*. London: ESRC, 2003.