

# A revolução nanotecnológica e o potencial para o agronegócio

Luiz H. C. Mattoso<sup>1</sup>  
Eliton S. de Medeiros<sup>2</sup>  
Ladislau Martin Neto<sup>3</sup>

**Resumo:** A nanotecnologia é atualmente um negócio mundial de 100 bilhões de dólares, que atrai, a cada dia, mais investimentos devido ao seu enorme potencial de aplicação tecnológica nos mais variados setores industriais. O agronegócio é sem dúvida uma das áreas onde o nosso país pode ter a maior competitividade em nanotecnologia, graças às especificidades e oportunidades de questões vinculadas ao nosso clima e agricultura tropical. Este artigo apresenta a origem e os fundamentos básicos da nanociência e nanotecnologia e descreve exemplos de algumas áreas, nas quais a nanotecnologia pode alavancar o agronegócio, dentre elas estão a indústria de insumos (fertilizantes, pesticidas) e medicamentos para uso veterinário, agricultura de precisão, rastreabilidade, indústria de alimentos, certificação e qualidade de produtos agrícolas, segurança alimentar, biotecnologia, agroenergia, monitoramento ambiental, novos usos de produtos agropecuários e vários outros setores da agroindústria.

**Palavras-chave:** nanotecnologia, agronegócio, nanociência.

## Introdução

A nanotecnologia tem provocado uma revolução em vários setores da ciência e tecnologia, pela descoberta de que os materiais em escala nanométrica (milionésimo de milímetro, nm) – nanoescala – podem apresentar novas propriedades e comportamentos e melhores desempenhos do que aqueles que geralmente são apresentados em escala micro ou macroscópica. O domínio da nanotecnologia encontra-se compreendido entre 0,1 e 100 nm, ou seja, desde as dimensões dos átomos e moléculas até próximo

a valores do comprimento de onda da luz visível. A nanotecnologia é claramente uma área de pesquisa e desenvolvimento muito ampla e interdisciplinar uma vez que pode interferir nos mais diversificados tipos de materiais (naturais e sintéticos) estruturados em escala nanométrica – nanoestruturados – de modo a formar blocos de construção (*building blocks*) na nanoescala, tais como: nanopartículas, nanotubos, nanofibras, que apresentam novas propriedades e levam a um ganho significativo no desempenho dos produtos resultantes. Dessa forma, a síntese, fabricação ou modificação e controle da matéria em escala

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia de Materiais, pela Universidade Federal de São Carlos, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, mattoso@cnpdia.embrapa.br

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia de Materiais, pela Universidade Federal de São Carlos, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, eliton@cnpdia.embrapa.br

<sup>3</sup> Doutor em Física, pela Universidade de São Paulo, chefe-geral da Embrapa Instrumentação Agropecuária, martin@cnpdia.embrapa.br

nanométrica e seu subsequente arranjo e aproveitamento para formar materiais e/ou dispositivos nanoestruturados representa o início de uma nova era, em que se pode ter acesso a novas propriedades e comportamento de materiais e de dispositivos de modo nunca visto antes (DREXLER, 1992).

A habilidade de medir, manipular e organizar a matéria em nanoescala e os novos fenômenos apresentados pelos materiais nanoestruturados são descobertas científicas que já têm promovido avanços tecnológicos inusitados e apontam para muitos outros que ainda virão num futuro cada vez mais próximo. Cientistas da universidade de Berkeley (FORESIGHT INSTITUTE, 2005), por exemplo, vêm desenvolvendo um sistema integrado de detecção de doenças patogênicas quase em tempo real, usando a nanotecnologia para o desenvolvimento de sensores ultra-sensíveis. Doenças em plantas e em animais podem diminuir a produtividade e fornecimento de alimentos, a menos que sejam detectadas logo no seu início sem que haja maiores proliferações para as áreas e animais ainda não contaminados. Esses dispositivos são capazes de detectar essas doenças em cada planta, de forma inteligente e em tempo real, baseando-se nas mudanças no metabolismo e na respiração, sendo apenas um exemplo de como a nanotecnologia abre possibilidades inovadoras para a agropecuária.

Neste artigo, os autores apresentam uma breve introdução sobre nanotecnologia descrevendo a origem e os fundamentos básicos da nanociência e apresentando exemplos de algumas áreas, nas quais a nanotecnologia pode revolucionar o agronegócio.

## A revolução nano

Com o passar dos séculos, a concepção a respeito da constituição da matéria foi evoluindo, à medida que novos métodos e equipamentos de investigação científica foram sendo aperfeiçoados e incorporados à ciência (HAWKING, 1988). Não obstante a preocupação da ciência em estudar

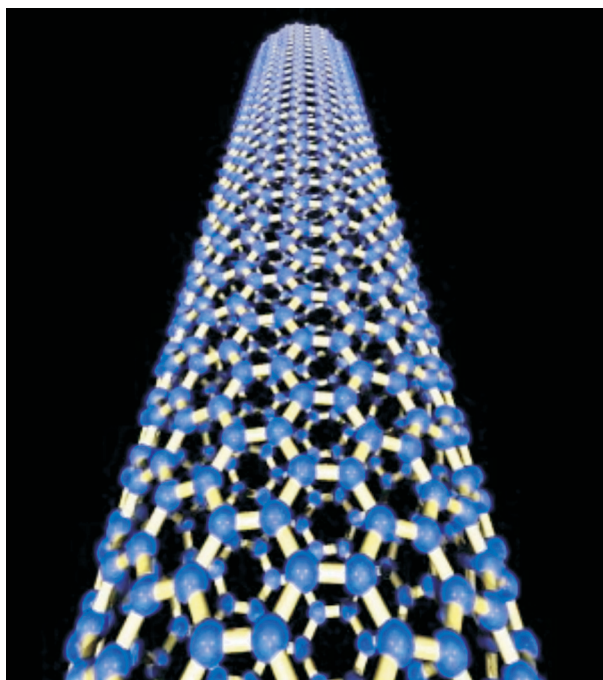
os elementos constitucionais da matéria, para a partir desses elementos poder compreender e controlar seu comportamento macroscópico, e de grande parte do conhecimento científico atual ser proveniente do conhecimento que vem se acumulando ao longo dos séculos, a manipulação de átomos e/ou moléculas individuais em escala nanométrica – a nanomanipulação – é uma idéia relativamente recente que só ganhou maior consistência a partir de 1959, quando Richard Feynman, um dos mais renomados cientistas do século 20 e ganhador de dois prêmios Nobel (DREXLER, 1992) mostrou que não há razões físicas que impeçam a fabricação de dispositivos através da manipulação de átomos individuais. Ele destacou, ainda, que essa manipulação não só era perfeitamente possível, como também inevitavelmente resultaria na fabricação de dispositivos úteis e aplicações incríveis para todos os campos do conhecimento (FISHBINE, 2002).

A palavra usada para denominar essa ciência em nanoescala sugerida por Feynman, ou mais precisamente, o termo nanotecnologia, surgiu apenas em 1974, quando um pesquisador da Universidade de Tóquio, Norio Taniguchi, fez a distinção entre engenharia em escala micro-métrica (por ex: a microeletrônica) e o novo campo da engenharia, em escala sub-micro-métrica, que estava começando a emergir (FISHBINE, 2002; TANIGUCHI, 1996).

Avanços significativos em nanotecnologia não foram notados até o início da década de 1980, devido à ausência de novos instrumentos que permitissem a nanomanipulação, como por exemplo, os microscópios de varredura por sonda (SPM), de varredura por tunelamento (STM), de campo próximo (NFM) e de força atômica (AFM). Esses instrumentos vêm promovendo os "olhos" e os "dedos" necessários para medir e manipular materiais em escala nanométrica (FISHBINE, 2002; SAKAKI, 1999) permitindo assim manipular átomos, moléculas, proteínas, DNA, etc.

Em 1986, Richard Smalley da Universidade de Rice descobre uma nova forma de blocos de construção, os fulerenos buckminster ou "buckyballs", que por sua vez conduziram à

descoberta dos nanotubos de carbono, em 1991, por Sumio Iijima (AMATO, 1999). Essa última forma de bloco de construção é basicamente formada por uma folha de carbono, enrolada de forma a conectar suas extremidades formando um tubo. Os nanotubos de carbono (Fig. 1) vêm revolucionando a nanotecnologia por exibirem resistência mecânica extremamente alta, podendo chegar a ser até 400 vezes maior que a do aço, conseguida apenas pela forma como o carbono se organiza na escala nanométrica. Adicionalmente estes materiais possuem propriedades elétricas e aplicações singulares, em particular para aplicação em sensores que podem ter um enorme potencial no agronegócio tanto para a rastreabilidade de processos como para a certificação de produtos agroindustriais. Atualmente muitos outros materiais ou fenômenos em nanoescala têm sido estudados, por nanocientistas do mundo inteiro, com o objetivo de compreender melhor os fundamentos e as leis da nanotecnologia para explorar todo o potencial de suas aplicações (SIEGEL et al., 1999).



**Fig. 1.** Modelo mostrando um nanotubo de carbono. Os átomos de carbono estão representados pelas esferas azuis e as ligações químicas entre eles pelos bastonetes amarelos.

Fonte: <http://www.ewels.info/img/science/nanotubes/>  
Acessado em: 26/10/2005.

Além disso, cientistas e órgãos governamentais tanto nos Estados Unidos como na Europa reconhecem o potencial das chamadas Tecnologias Convergentes de transformarem todos os setores da economia, assim como a própria compreensão do ser humano. O governo americano refere-se a essas tecnologias como Nanotechnology-Biotechnology-Information technology-Cognitive science (NBIC), mas também conhecida por BANG (derivado de bites, átomos, neurônios e genes), e reconhece que o domínio da escala nano integrando essas tecnologias proporcionará ao domínio da natureza (ROCO et al., 1999).

## O mega efeito do nano

Na nanoescala surgem novos fenômenos que não aparecem na macroescala. As mudanças mais importantes de comportamento são causadas não apenas pela ordem de magnitude da redução de tamanho, mas por novos fenômenos intrínsecos observados ou que se tornam predominantes em nanoescala e que não são necessariamente previsíveis a partir do comportamento observável em escalas maiores. Essas alterações de comportamento estão relacionadas com as forças naturais fundamentais (gravidade, atrito, eletrostática, etc.) que mudam de importância quando a escala é reduzida (FISHBINE, 2002).

No mundo macroscópico dos seres humanos, as forças gravitacional e de atrito são mais predominantes. Além das forças naturais, existem as forças "dominadas" pelo homem, como a proveniente dos motores de combustão interna ou as forças eletromotoras que impulsionam as máquinas elétricas. Essas forças são dominantes desde a escala macroscópica até dimensões de cerca de um milímetro, permitindo a tecnologia industrial conhecida hoje (FISHBINE, 2002; ROCO et al., 1999). Porém, a medida que as dimensões dos corpos diminuem, as forças de atrito, gravitacional e de combustão tornam-se de menor importância, enquanto novas forças ganham mais importância – forças eletrostáticas. Por exemplo, em escala subatômica, a força eletrostática entre dois prótons é cerca de  $10^{36}$

vezes mais forte que a força gravitacional, e pode ser utilizada, por exemplo para mover nanodispositivos. A força gravitacional começa a dominar o universo dos corpos e partículas apenas quando uma quantidade significativa de matéria se faz presente e, nesta escala mais ampla, é a força dominante (FISHBINE, 2002; ROCO et al., 1999).

Pelo menos dois efeitos principais são induzidos pela estruturação de materiais em escala nanométrica:

- Efeitos de tamanho – quando a matéria, como por exemplo, partículas magnéticas são reduzidas a dimensões muito pequenas, sua estrutura atômica dá origem a novos fenômenos, como o super-paramagnetismo, mudança nas propriedades óticas e elétricas, que podem ser exploradas para a fabricação de nanosensores e outros dispositivos para aplicação no agronegócio e em muitos outros campos do conhecimento aplicado.

- Efeitos induzidos pelo aumento na área superficial – o aumento na área superficial de nanomateriais provoca um aumento significativo na sua reatividade, permitindo, por exemplo, a redução do uso de insumos (fertilizantes, pesticidas) na agricultura, melhoria no desempenho de essências aromáticas e paladar em alimentos e de catalisadores para, por exemplo, produção de biocombustível, dentre outros.

## Potencial da nanotecnologia para o agronegócio

Embora o agronegócio brasileiro ocupe hoje uma posição de líder mundial, é essencial o investimento contínuo em novas tecnologias, para o País poder continuar crescendo e abrir novos mercados nesse setor tão dinâmico da economia (ALVES, 2001; BANCO DO BRASIL, 2004). Assim a nanotecnologia oferece oportunidades extremamente promissoras para melhoria da competitividade e do desempenho de processos e produtos agropecuários em várias áreas, agregação de valor a produtos, e aproveitar nichos de mercado que pelas nossas características

tropicais teremos vantagens competitivas, e algumas destas serão descritas brevemente abaixo (DURÁN et al., 2005, ETC GROUP, 2004; MATTOSO, 2005).

A importância da nanotecnologia no agronegócio começa desde o início das cadeias produtivas, contribuindo de forma significativa na melhoria do desempenho, eficiência e economia de insumos (fertilizantes, pesticidas, etc.), por meio do desenvolvimento de nanopartículas e nanoencapsulação para liberação controlada de fertilizantes e pesticidas em solos e também de fármacos para uso veterinário (DURÁN et al., 2005, ETC GROUP, 2004; MATTOSO, 2005). Em anos recentes tem aumentado a pressão no Brasil para o desenvolvimento de insumos agropecuários de melhor qualidade e desempenho, em função do maior acesso a produtos externos, bem como da necessidade de diminuir o impacto ambiental associado ao uso desses insumos.

Há uma demanda crescente por fertilizantes que apresentem maior absorção pelas plantas, que não sofram segregação durante a etapa de formulação e transporte, e que sejam mais fáceis de manusear e aplicar. Pesticidas com eficácia na aplicação cada vez maior também são desejáveis não apenas pela vantagem econômica, mas, sobretudo, pela redução do impacto ambiental, diminuição da toxidez para o homem durante a sua aplicação e diminuição da carga poluente alimentada ao meio físico. Assim, a aplicação da nanotecnologia no setor de insumos agropecuários tem a finalidade de melhorar a eficiência funcional de produtos como nutrientes, pesticidas sintetizados quimicamente (herbicidas, inseticidas e parasiticidas) ou de natureza biológica (microorganismos com atividade específica contra uma praga-alvo), bem como a segurança no manuseio desses produtos, reduzindo riscos de toxidez para o homem, de concentrações elevadas na lavoura e de contaminação ambiental. Tal abordagem está alinhada com as exigências pertinentes à preservação de qualidade de vida e redução dos riscos de contaminação do meio ambiente.

O Brasil economiza atualmente 1,5 bilhão de dólares por ano em fertilizantes nitrogenados

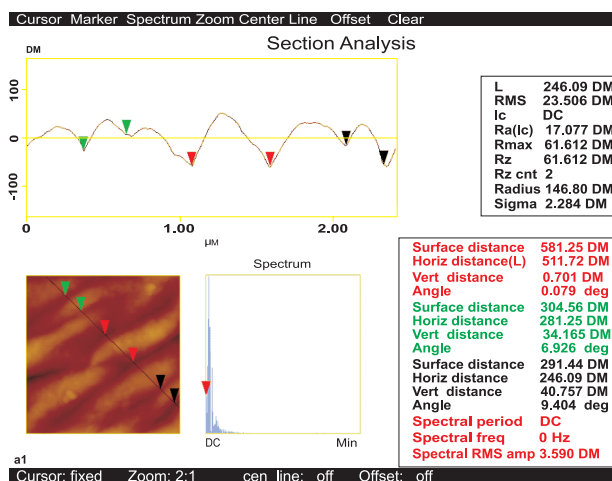
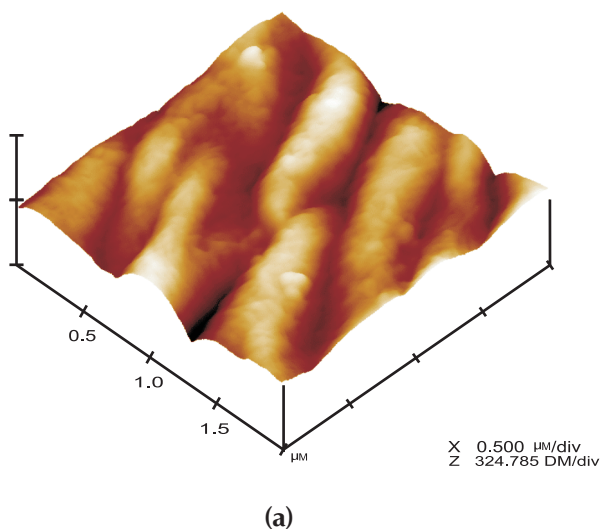
somente na cultura da soja, graças, especialmente, as pesquisas desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e instituições parceiras, no desenvolvimento da fixação biológica de nitrogênio na cultura dessa leguminosa, o que demonstra o potencial que a agregação de novas tecnologias pode ter nesse setor.

A nanotecnologia também pode contribuir significativamente na melhoria do desempenho de produtos agropecuários e no desenvolvimento de novas aplicações, agregando valor, abrindo novos mercados e ajudando assim a capacidade do País de passar de simples produtor de commodities, na forma de alimentos in natura, para gerador de uma série de outros produtos de fontes renováveis e obtidos de forma sustentável, tal como é o caso mais recente da agroenergia. A partir do momento que se passar a conhecer, dominar e manipular cada vez mais as plantas, animais, alimentos e outros produtos agropecuários em geral, no nível da nanotecnologia, conseguir-se-á explorar melhor todos as propriedades de seus constituintes e ser capaz de um mesmo grão de soja, por exemplo, extrair alimento, leite, óleo comestível, óleo combustível, tinta, plástico, borracha, remédios e outros produtos, cujo potencial ainda estão desconhecidos. Assim, o desenvolvimento de novos usos

de produtos agrícolas é uma área que pode ser significativamente impulsionada explorando-se a nanotecnologia.

Com o uso de recursos renováveis, os recursos fósseis podem ser parcialmente substituídos, levando a uma diminuição da poluição e impacto ambiental e do próprio efeito estufa. Para substituir matérias-primas não renováveis, uma solução natural é a fotossíntese, a transformação da energia solar e gás carbônico em substâncias orgânicas, isto é, biomassa vegetal. A biosfera apresenta  $27 \times 10^{10}t$  de carbono em organismos vivos e deste total, mais de 99% está contido nas diferentes espécies de plantas. Dentre os componentes da planta, destacam-se os lignocelulósicos que possuem propriedades extremamente promissoras para substituição de vários materiais sintéticos, como, por exemplo, fibras de sisal (Fig. 2) que já podem substituir fibras de vidro em algumas aplicações da indústria de plásticos e peças automobilísticas.

Com o aumento da preocupação com a poluição ambiental e os problemas com o aumento de desperdício, gerando cada vez mais lixo não degradável, o uso de produtos naturais biodegradáveis, tais como polímeros vindos da agricultura para confecção de plásticos e embalagens biodegradáveis é uma necessidade



**Fig. 2.** Imagens obtidas em microscópio de força atômica de fibras de sisal mostrando: (a) ordenamento das fibras e (b) medida das características das fibras.

premente. Outro problema é que o volume de resíduos gerados de atividades de base agrícola e florestal é bastante elevado, cerca de 50% a 70% na indústria madeireira (serrarias e indústria de móveis) e de quase 50% nas indústrias de papel e celulose. Além da ampliação do mercado, pela disponibilização e valorização de novos produtos, o desenvolvimento de tecnologias que revertam o conceito de resíduo para o de matéria prima, como a extração de nanofibras vegetais ou nanopartículas de sílica de resíduos da agroindústria para a produção de nanocompósitos plásticos, ou produção de outros produtos de interesse industrial, é imprescindível para otimizar a eficiência da indústria, podendo contribuir para agregação de valor e rentabilidade de produtos agrícolas e melhorar a competitividade e estabilidade econômica do País (DURÁN et al., 2005; ETC GROUP, 2004; MATTOSO, 2005).

Na agroindústria são inúmeras as áreas onde a nanotecnologia pode dar contribuição expressiva para aumentar a competitividade do setor. Um exemplo é na melhoria do desempenho de processos e produtos agroindustriais, através do desenvolvimento de membranas de separação e/ou barreira para vários processos agroindustriais e embalagens ativas e inteligentes para alimentos e bebidas e purificação de água, com controle da nanoestrutura, que possuem uma enorme importância neste setor.

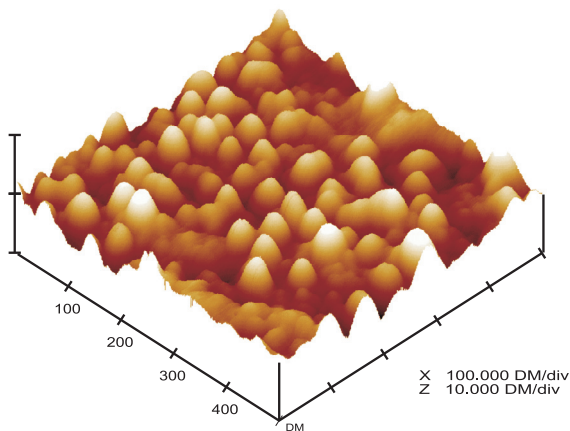
A agroindústria de alimentos tem enfrentado enormes perdas durante o armazenamento, transporte e distribuição de alimentos frescos, pré-cortados e embalados. Para a redução das perdas quantitativas e qualitativas dos alimentos durante o armazenamento, transporte e distribuição estão sendo desenvolvidos sistemas de embalagem (ativas e inteligentes) que monitoram não só a qualidade dos alimentos bem como a condição do ambiente que os circunda. Essas embalagens também podem indicar a quebra da cadeia de frio e podem revelar o histórico desses produtos durante as principais etapas da comercialização. As embalagens podem regular a taxa de respiração de produtos vegetais, reduzir o processo de degeneração de alimentos e/ou produtos perecíveis por ação de microorganismos

em condições reais de estocagem e conservação, aumentando a sua vida útil e também introduzir elementos no envasamento capazes de reter componentes indesejáveis desses alimentos, que deterioram a sua qualidade, introduzindo compostos como agentes antimicrobianos que podem melhorar as características sensoriais do produto, aumentando o seu tempo de conservação com conseqüente abertura de novos mercados para exportação, e ganhos econômicos extremamente significativos (DURÁN et al., 2005; ETC GROUP, 2004; MATTOSO, 2005).

Para finalizar, citam-se, ainda, pelo menos outras três áreas interligadas, onde a nanotecnologia pode também revolucionar o agronegócio na área da agropecuária de precisão, são elas: a rastreabilidade e certificação de produtos agropecuários e a segurança alimentar, através do desenvolvimento de nano sistemas inteligentes de monitoramento e tomada de decisão e nanobiosensores e nanodispositivos eletrônicos dedicados para o agronegócio. Na agricultura de precisão todos os ganhos em capacidade, memória e velocidade alcançados na computação e no desenvolvimento de circuitos eletrônicos cada vez menores e mais potentes possibilitarão ter, por exemplo, rede de sensores inteligentes no campo que monitorem desde a produtividade até o amadurecimento ou início de doenças em plantas ou animais diretamente no campo, em escala e níveis nanométricas, impossíveis de serem detectadas sem o desenvolvimento de nanodispositivos. Nessa linha, cientistas da Universidade de Michigan (Kopelman Laboratory, EUA) (FORESIGHT INSTITUTE, 2005) estão desenvolvendo nanosensores bioanalíticos, que poderão ser implantados na glândula salivar de um animal, capazes de detectar um único vírus na saliva até mesmo antes que eles possam se proliferar ou que os sintomas sejam evidentes. Assim, existe uma exigência crescente da rastreabilidade da qualidade de produtos agropecuários desde a sua produção até a sua comercialização final, importantíssimo para aumentar a competitividade e garantir a sustentabilidade do agronegócio brasileiro. Quando se pensa no mercado internacional, as exigências

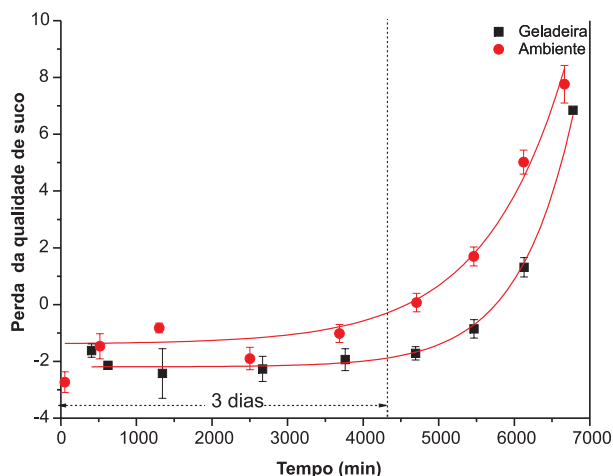
por rastreabilidade, qualidade e certificação são ainda maiores. Adicionalmente a avaliação do impacto ambiental causado pelas atividades agropecuária é, portanto, também uma necessidade vital. O aumento crescente de resíduos das atividades produtivas, incluindo o agronegócio com uso indiscriminado de pesticidas que causam contaminações de solos e águas, tem chamado a atenção não só de cientistas, mas de toda sociedade para as questões ambientais, e a nanotecnologia pode também dar contribuição significativa nessa área.

Nos últimos anos, descobertas de destaque, por exemplo, demonstraram a importância do uso de materiais nanoestruturados para atingir altas sensibilidades em vários tipos de sensores. Algumas dessas descobertas foram realizadas por brasileiros, como é o caso da língua eletrônica de alta sensibilidade, desenvolvida pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (Fig. 3) (DURÁN et al., 2005), que é hoje a mais sensível já relatada na literatura, liderança que se deve à sinergia de colaborações científicas de pesquisadores de variadas formações e instituições, que está sendo utilizada para o programa de qualidade do café da Associação Brasileira das Indústrias de Café (Abic) e estará expandindo suas aplicações para qualidade de sucos de frutas (Fig. 4) e rastreabili-



**Fig. 3.** Imagem obtida em microscópio de força atômica de nanoestruturas utilizadas no sistema sensor conhecido como língua eletrônica.

dade e certificação de vários outros produtos, desde que o País consiga priorizar mais investimentos em ciência e tecnologia para o agronegócio.



**Fig. 4.** Perda da qualidade de suco de laranja em função do tempo e da temperatura de armazenamento.

## O Brasil carece de investimentos em nanotecnologias para o agronegócio

A nanotecnologia é atualmente um negócio de 100 bilhões de dólares que possui a previsão de um enorme crescimento, devendo atingir 1 trilhão até 2011 (ETC GROUP, 2004; HASSAN, 2005), em virtude do seu potencial de aplicação nos mais variados setores industriais e ao impacto que seus resultados podem dar ao desenvolvimento tecnológico e econômico. Nesse contexto, existe uma infinidade de áreas, para as quais a nanotecnologia pode dar uma contribuição significativa, algumas delas, inclusive, já estão sendo comercializadas. O Brasil tem procurado não ficar de fora da corrida por essa tecnologia, e o governo começou um esforço conjunto nessa área conhecida com a Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia em 2001, para formar redes de pesquisa no tema em áreas estratégicas.

As oportunidades são imensas e altamente promissoras, mas até o momento o País apenas conseguiu priorizar os escassos recursos para áreas mais tradicionais como a física, química e engenharia onde os países desenvolvidos tem maior poder de fogo, mas que não são necessariamente as áreas em que o nosso país possui mais necessidade, potencial e competitividade, como é o caso do agronegócio.

O agronegócio é, certamente, uma área em que nosso país pode ter a maior competitividade em nanotecnologia, graças as especificidades e oportunidades de questões vinculadas ao nosso clima e agricultura tropical. Adicionalmente, as universidades e demais instituições de pesquisa do nosso país, tais como a Embrapa, possuem grupos de excelência de pesquisadores altamente capacitados para promover avanços do conhecimento nesse tema. No entanto, o País ainda não tem priorizado recursos para explorar as potencialidades da nanotecnologia para o agronegócio, e começa a se comprometer se um esforço conjunto dos órgãos de fomento não for feito nesse sentido. Um estudo recente da universidade de Toronto (The University of Toronto Joint Centre for Bioethic), que ranqueou as dez áreas onde as aplicações de nanotecnologia possuem o maior potencial de impacto, colocou a agricultura em segundo lugar (ETC GROUP, 2004). No entanto, levantamento similar feito no Brasil deixou o agronegócio fora das dez prioridades, enquanto a agricultura americana e européia já atuam nesse setor há alguns anos, tendo inclusive inúmeros produtos nanoestruturados, melhorando de forma impressionante o desempenho desde fertilizantes até alimentos industrializados.

Os desafios são enormes, em particular da capacidade do País reconhecer o potencial dessa nova tecnologia e conseguir rapidamente priorizar investimentos significativos numa área tão estratégica para o Brasil, como é o caso do agronegócio, integrando esforços das mais variadas instituições de pesquisa e empresas desse setor.

Assim, uma maior conscientização dos nossos gestores é imprescindível para termos uma

política coesa de desenvolvimento científico e tecnológico em áreas estratégicas que gere mais desenvolvimento econômico e social para o País. O Brasil não pode mais perder um bonde da inovação, em particular quando se trata de uma área em que o País tem demonstrado tanta vocação, capacidade e competência – o agronegócio – não somente para garantir a sua competitividade e agregar valor aos seus produtos, mas para poder alavancar o desenvolvimento econômico e social do País. A Embrapa, por sua vez, empenha-se em não perder esta oportunidade e definiu a nanotecnologia como uma de suas áreas estratégicas para fazer parte do Laboratório no Exterior (Labex), desenvolvido em cooperação, até o momento, com os Estados Unidos e Europa (sede na França). Também coordena a iniciativa de organização de uma grande rede de cooperação de pesquisa em nanotecnologia no agronegócio, que ainda está em busca de investimentos e de um Instituto Alan MacDiarmid de Inovação e Negócios, com a colaboração do Prêmio Nobel de Química, que dá nome a este instituto, para incrementar as ações em P&D&I no agronegócio, em particular inovações em nanotecnologia.

## Conclusões

A nanotecnologia está tendo um enorme investimento nos mais variados setores da economia, em todo o planeta, em razão do enorme potencial de desenvolvimento tecnológico, econômico e social que ela pode proporcionar. Os países ou setores da economia que não dominarem essa tecnologia poderão ficar seriamente comprometidos e/ou dependentes dos detentores deste know-how. O Brasil possui uma oportunidade única de ser competitivo no domínio da nanotecnologia aplicada ao agronegócio, desde que tenha a capacidade de priorizar recursos para essa área no qual o Brasil possui vocação e competência, e que pode ser alavancada com o uso da nanotecnologia. Esforços têm sido feitos com a formação de uma rede de pesquisa envolvendo especialistas de diferentes instituições de excelência de todo o



País, mas têm esbarrado na falta de financiamento, que no caso de tecnologias como essa deveria ser certamente encaradas como estratégicas e prioritárias para um país que não pode ficar para trás, mas que deseja crescer e liderar o agronegócio em nível mundial. Assim, o Brasil tem nas mãos a oportunidade preciosa de ser não apenas um dos maiores produtores de alimentos do mundo, mas de se tornar um país mais desenvolvido, graças ao agronegócio mais desenvolvido do planeta, para produzir desde alimento até agroenergia, incluindo uma série enorme de outros produtos, em que a nanotecnologia será a tecnologia propulsora e ao mesmo tempo vital para se ter um agronegócio competitivo.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao Programa Labex-EUA, e à Embrapa e instituições parceiras pelo apoio concedido.

## Referências

- ALVES, E. A. Neutralidade da tecnologia. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 10, p. 38-52, out./dez. 2001.
- AMATO, I. *Nanotechnology: shaping the world atom by atom*. Washington: NSTC, 1999. 8 p.
- BANCO DO BRASIL. O agronegócio brasileiro: desempenho, mercados, potencialidades. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 13, n. 4, p. 4-9, out./dez. 2004.
- DREXLER, K. E. *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation*. New York: Wiley, 1992. 556 p.
- DURÁN, N. C.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. (Ed.). *Nanotecnologia: introdução preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicações*. São Paulo: Artliber, 2005. No prelo.
- ETC GROUP. *Down on the farm: the impact of nano-scale technologies on food and agriculture*. 2004. Disponível em: <<http://www.etcgroup.org>>. Acesso em: 10 set. 2005.
- FISHBINE, G. *The investor's guide to nanotechnology & micromachines*. New York: Wiley, 2002. 272 p.
- FORESIGHT INSTITUTE. Disponível em: <<http://www.foresight.org/challenges/agriculture001.html>>. Acesso em: 04 out. 2005.
- HASSAN, M. H. A. Small things and big changes in the developing world. *Science*, Washington, v. 309, n. 5731, p. 65-66, jul. 2005.
- HAWKING, S. W. *Uma breve história do tempo: do big bang aos buracos negros*. 30. ed. Rio de Janeiro: Rocco, 1988. 262 p.
- MATTOSO, L. H. C. *Rede de nanotecnologia aplicada ao agronegócio*. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005. (Projeto de pesquisa).
- ROCO, M. C.; WILLIAMS, R. S.; ALIVISATOS, P. (Ed.). *Nanotechnology research directions: IWGN Workshop report: vision for Nanotechnology R & D in the next decade / on behalf of NSTC/CT/IWGN*. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001. 316 p.
- SAKAKI, H. Fabrication of atomically controlled nanostructures and their device application. In: TIMP, G. (Ed.). *Nanotechnology*. New York: Springer-Verlag, 1999. p. 207-256.
- SIEGEL, R. W. Introduction and overview. In: SIEGEL, R. W.; HU, E.; ROCO, M. C. (Ed.). *Nanostructure science and technology: a worldwide study: final report*. Maryland: Loyola College Maryland; WTEC, 1999. p. 1-14.
- TANIGUCHI, N. (Ed.). *Nanotechnology: integrated processing systems for ultra-precision and ultra-fine products*. Oxford: Oxford University Press, 1996. 424 p.