

O poder revolucionário da nanotecnologia

27 de setembro de 2009

Nanotecidos não molham nem mancham.

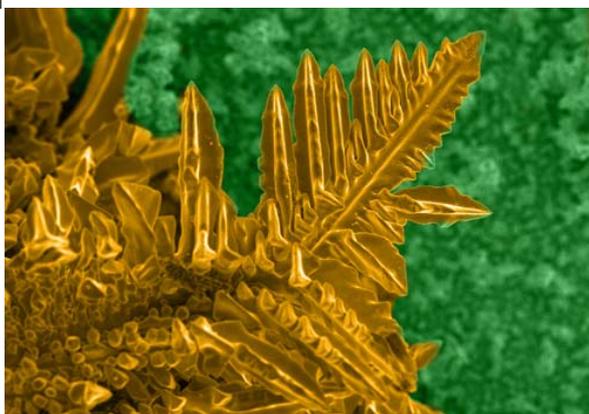
Nanocristais de óxido de zinco podem ser utilizados para fabricar telas ou filtros solares invisíveis, capazes de bloquear a luz ultravioleta. Nanocristais de prata matam bactérias e previnem infecções.

Novos produtos como esses, que parecem mágicos, começam a fazer parte de nosso cotidiano, como resultado do progresso da nanotecnologia, um dos campos emergentes mais fascinantes e promissores da ciência e da tecnologia. Altamente interdisciplinar, a nanotecnologia envolve física, química, biologia, ciência dos materiais e praticamente todas as disciplinas da engenharia.

Para entender a nanotecnologia, é essencial que compreendamos o mundo nano, ou seja, um mundo de dimensões muito pequenas. Em grego, nanós significa anão. Daí a palavra nanico. Antes de mais nada, recordemos o significado de um nanômetro. Todos sabemos que o metro tem 100 centímetros. Ou mil milímetros. Ou um milhão de micrômetros. Ou um bilhão de nanômetros. Logo, o nanômetro é um submúltiplo que equivale a um bilionésimo do metro.

Assista & Reflita do Club 33

E os materiais construídos nessa escala apresentam propriedades físicas e químicas bastante diferentes, graças aos efeitos da mecânica quântica. Embora os dispositivos dessas dimensões sejam utilizáveis há muitas décadas, no campo dos sistemas microeletromecânicos (MEMS, na sigla em inglês) as técnicas para operar em nanoescala se tornaram essenciais para a engenharia, e os materiais de nanoengenharia começaram a surgir em produtos de consumo.



No mundo nano, a superfície da partícula é maximizada. Isto lhe dá propriedades distintas do mundo macro. A

superfície nano faz com que, por exemplo, os átomos falem melhor entre si e passem a interagir em cooperação. O nanoalumínio não é mais um material inerte como o metal alumínio e passa a ser um perigoso explosivo. A platina e o ouro são inertes. A nanoplatina, no entanto, passa a ser um poderoso catalisador, acelerando a velocidade das reações químicas. O ouro nanométrico tem propriedades radicalmente diferentes do metal em seu estado normal.

Existem duas razões principais para as diferenças qualitativas no comportamento dos materiais em

Assista & Reflita do Club 33

nanoescala. Primeira: os efeitos da mecânica quântica que se manifestam e passam a atuar nas dimensões muito pequenas – e conduzem a uma nova física e nova química. Segunda: uma característica essencial da nanoescala é a relação entre uma superfície muito grande e o volume dessas estruturas.

Com seu desenvolvimento acelerado em todo o mundo, a nanotecnologia tende a popularizar-se rapidamente. Em poucos anos, ouviremos diariamente alguns neologismos como nanomundo, nanoalumínio, nanoplatina, nanochip, nanotubos, nanocomputador, nanorrobôs, nanoeletrônica, nanocristais, nanofiltros, nanomáquinas, nanomanipulação, nanomateriais e nanoterrorismo.

A nanotecnologia trabalha com partículas ou objetos entre 10 e 100 nanômetros, isto é, em escala atômica ou molecular. Para se ter uma idéia, um nanômetro pode comportar até 7 átomos alinhados. E um nanotubo de carbono é 100 mil vezes mais fino que um fio de cabelo.



Para aprofundar a discussão desse mundo nano, entrevistei na semana passada o professor Henrique Eisi Toma, professor titular do Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da Universidade de

Assista & Reflita do Club 33

São Paulo (USP), um dos maiores especialistas em nanotecnologia do Brasil. O professor Toma é autor, entre outros, do livro *O Mundo Nanométrico* (Ed. Oficina Textos, São Paulo, 2009). Vale a pena ler esse livro, escrito, aliás, em linguagem acessível à maioria das pessoas.

Para o professor da USP, a nanotecnologia fará, seguramente, uma revolução muito maior do que a da microeletrônica. Com ela, surgirão a nanoquímica, os nanoplásticos, os nanotêxteis, a nanoeletrônica e até os nanocosméticos. É um mundo tão amplo que dificilmente nos damos conta de que sua existência está na natureza e que o homem quer reproduzir. Uma faca de cozinha com fio de corte nanométrico será superafiada. Pode até ser perigosa, pois basta que ela encoste na pele e já estará cortando.

Quem primeiro concebeu a idéia de nanotecnologia? O físico norte-americano Richard Feynman, considerado o criador do conceito da nanotecnologia, ao proferir uma palestra na Sociedade Americana de Física, com o título de *Há muito espaço lá em baixo* (*There's plenty of room at the bottom*). Ele começou sua palestra observando que a oração do Pai Nosso já havia sido escrita sobre a cabeça de um alfinete. Em seguida, perguntou ao auditório: "Por que não podemos escrever os 24 volumes da Enciclopédia Britânica nessa mesma cabeça de alfinete?"

Assista & Reflita do Club 33

Entre outros cientistas que contribuíram para o desenvolvimento dessa ciência e tecnologia estão o alemão Gerd Binnig e o suíço Heinrich Rohrer, da IBM, laureados do Prêmio Nobel de Física de 1986 pela descoberta do microscópio não-óptico STM (*scanning tunneling microscope*), que permite visualizar e manipular átomos na superfície de partículas e ajudaram significativamente a desenvolver a nanotecnologia.

Em 1991, Sumio Iijima, da NEC Corporation, descobriu os nanotubos de carbono, nos quais o carbono assume a forma de tubos reticulados.

Para corrigir equívocos e eliminar preconceitos que se divulgam sobre esse mundo de dimensões nanométricas e sobre a nanoescala, o professor Henrique Toma, explica: "O mundo nano não é coisa nova, artificial, criada pelo homem. Ele está na natureza e em nós mesmos, nas biomoléculas que promovem a vida. Ele está no arco-íris, na asa da borboleta, no brilho das pedras e do asfalto, e em tudo que ingerimos, do leite ao café, e respiramos".

As propriedades incríveis de alguns elementos ou substâncias quando em dimensões nano são explicadas pela mecânica quântica. Esse mundo nano tem conquistado espaços cada vez mais avançados na pesquisa científica e tecnológica. O Prêmio Nobel de Física de 2007, por exemplo, foi concedido aos pesquisadores Albert Fert, francês, e Peter Grünberg, alemão, pela descoberta da magnetorresistência gigante, efeito quântico

Assista & Reflita do Club 33

observado em filmes finos compostos de camadas alternadas de metal ferromagnético e não magnético. O efeito foi descoberto em 1988, com a utilização de camadas de ferro-cromo (Fe/Cr).

A magnetorresistência gigante tem muitas aplicações tecnológicas no mundo moderno. A maior delas é, sem dúvida, na área de armazenamento de dados, pois, atualmente, todos os discos rígidos de computador são baseados nessa tecnologia. Outra aplicação é em memórias de acesso aleatório não voláteis. A descoberta da magnetorresistência gigante marca o nascimento da spintrônica.

Mas o que é spintrônica? Também conhecida como magnetoeletrônica, o neologismo spintrônica designa a "eletrônica baseada em *spin*", tecnologia emergente que explora a propensão quântica dos elétrons de girar (*spin*, em inglês), bem como a possibilidade prática de usar o estado de suas cargas elétricas para armazenar informação.

A spintrônica diz respeito a dispositivos eletrônicos que executam operações lógicas baseadas não apenas na carga elétrica dos elétrons transportadores (tipo n ou tipo p), mas também em sua spin. Assim, por exemplo, a informação pode ser transportada ou armazenada através dos estados de spin-up ou spin-down dos elétrons.

Entrevista

Assista & Reflita do Club 33

A seguir, a síntese do meu diálogo com o professor Toma.

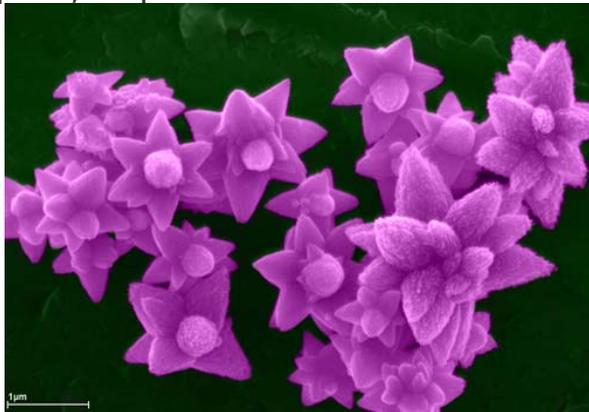
Uma das coisas mais surpreendentes é a mudança de comportamento de diversas substâncias, quando se encontram reduzidas a partículas nanométricas. Como se explica a mudança de propriedade de materiais ou substâncias quando sob a forma de nanopartículas?

Essa é uma questão fundamental que está relacionada com a dimensão nanométrica, isto é, na faixa de 1 a 100 bilionésimos do metro (0,000.000.001 metro). Para se ter uma ideia, um nanômetro pode comportar até 7 átomos alinhados. E um nanotubo de carbono é 100 mil vezes mais fino que um fio de cabelo.

Veja que um objeto nanométrico pode conter apenas alguns átomos ou até dezenas de milhares de átomos. Muitos nos perguntam: ora, se a química e a biologia sempre lidaram com átomos e moléculas, qual é a novidade da nanotecnologia? Conceitualmente, a diferença está no tamanho, na organização e nas ferramentas utilizadas no contexto nano. A química e a física são governadas por fenômenos estatísticos, mediante colisões entre as partículas. As partículas (átomos e moléculas) movem-se espontaneamente ao sabor da energia térmica. Quando as aquecemos (fornecemos calor), as moléculas se movem mais rapidamente e colidem entre si com maior frequência. Das milhões de colisões que ocorrem a cada segundo, apenas algumas são produtivas, e levam a uma

Assista & Reflita do Club 33

transformação química (ou reação química). Por isso, a química é intrinsecamente pouco eficiente.



Nos sistemas biológicos, a natureza vem aperfeiçoando a química já há alguns bilhões de anos. Surgiram as biomoléculas,

formadas por alguns milhares de átomos, que evoluíram para realizar transformações químicas com maior eficiência, por meio do efeito cooperativo de vários grupos, simultaneamente. Na química, se um processo necessita da colisão de três ou mais partículas (moléculas), a probabilidade de sucesso será quase nula. É como se estivéssemos tentando acertar uma loteria de 2 números, e depois passássemos para 3 ou mais números. Quanto maior o número, menor é a chance de acerto casual.

Na biologia, as moléculas organizam-se de tal maneira, formando um agrupamento estratégico, que permite que elas atuem simultaneamente ou em sequência, realizando transformações que seriam quase impossíveis de acontecer na química. Por exemplo, esse tipo de ação explica como a energia é capturada e transformada através da fotossíntese, ou na cadeia respiratória.

Se não fosse assim, nós queimaríamos os alimentos como se fossemos um motor a combustão, perdendo muita energia sob a forma de calor, e

Assista & Reflita do Club 33

gerando produtos indesejáveis que detonariam por completo a máquina biológica. Qual é o ponto mais importante dessa comparação? Os sistemas biológicos funcionam por meio de biomoléculas, que têm dimensões nanométricas, e atuam como nanomáquinas, realizando ações de alta complexidade, tornando possível a vida. Além da questão de tamanho e organização, existe outro ponto muito importante a ser lembrado. Na dimensão nanométrica, estamos na fronteira entre o clássico e o quântico.

Qual seria a diferença entre clássico e quântico?

O mundo quântico é o mundo das partículas muito pequenas, já na escala atômica e subatômica. Ele difere do mundo clássico por uma propriedade descrita pela primeira vez em 1924 pelo físico francês De Broglie, que estabelece uma dualidade entre partículas e ondas.

Quanto menores forem as partículas, mais pronunciado será o comportamento de onda. Esse fato revolucionou toda a física, abrindo caminho para o surgimento da mecânica quântica, que é a teoria que melhor explica a química, por meio das interações eletromagnéticas que envolvem os elétrons, prótons e luz.

No mundo nanométrico, as partículas já começam a incorporar aspectos quânticos importantes.

Sabemos, por exemplo, que um sólido é formado por átomos, que se ligam através dos elétrons, como se fosse uma cola, envolvendo-os completamente no interior da matéria. Entretanto,

Assista & Reflita do Club 33

os átomos que estão na superfície do sólido não têm sua capacidade de ligação totalmente satisfeita (pois não existem átomos do outro lado para se ligar). Por isso, esses átomos têm um comportamento diferente daqueles que estão no interior dos materiais.

Normalmente, os átomos da superfície são mais reativos quimicamente. Não causa surpresa que a superfície dos sólidos esteja sempre contaminada pelas espécies presentes no meio ambiente. Nos corpos macroscópicos, a maioria dos átomos está no interior, e geralmente a superfície tem um papel secundário. Entretanto, nos objetos nanométricos, grande parte, senão a maioria, dos átomos está na superfície.

Esses átomos têm um comportamento químico diferente, pois sua capacidade de ligar-se a outros átomos ainda não foi esgotada. Em alguns casos, como nas nanopartículas de prata, cobre e ouro, os elétrons remanescentes nos átomos superficiais movem-se coletivamente, como ondas, denominadas plasmônicas.

Essas ondas na superfície das nanopartículas espalham a luz de um modo especial, gerando uma cor muito intensa. Por isso, as nanopartículas de prata e ouro são fortemente coloridas, com tons que variam do alaranjado ao violeta. São elas que decoram os belíssimos vitrais das igrejas medievais na Europa e objetos cerâmicos conhecidos desde a época do Império Romano, como o copo de Licurgos, exposto no Museu Britânico, de Londres.

Assista & Reflita do Club 33

Como poderão esses plasmons revolucionar o mundo da eletrônica e da comunicação no futuro?

Por meio da chamada ressonância plasmônica de superfície. Hoje a luz é conduzida através das fibras ópticas, que atuam meramente como um meio condutor, envolvido por um material que impede o seu escape para fora. Mas a luz, quando atinge um filamento de nanopartículas de ouro, pode propagar-se através desse metal, conduzida pelos elétrons de superfície (plasmons), que agem como se fossem guias de onda. Dependendo do formato (esférico ou cilíndrico) das nanopartículas, é possível modificar as propriedades da luz, abrindo perspectivas muito interessantes na área de transmissão e processamento de sinais.

O ouro e outros metais têm comportamentos surpreendentes, quando em escala nanométrica, não?

Sim. E outra curiosidade: se tivermos uma lâmina de espessura nanométrica de ouro, e nela fizermos nanofuros, e depois incidirmos luz, observaremos que a luz que passa pelos nanofuros é mais intensa do que antes. Esse fenômeno, descrito como intensificação gigantesca de luz, é provocado pelos plásmons de superfície. É como se, nas bordas dos orifícios, as ondas da luz se somassem às ondas dos elétrons de superfície, tornando-se mais intensas. Não é preciso muita imaginação para supor que, no futuro, esse tipo de tecnologia venha ter seu lugar no mundo fotônico dos displays e comunicação. Outro fato interessante é que as nanopartículas de

Assista & Reflita do Club 33

ouro são sensoriais. Quando elas se aproximam, as ondas plasmônicas interagem, provocando mudança de cor, geralmente do vermelho para azul. Por isso, as nanopartículas podem ser modificadas como anticorpos, para reconhecer antígenos, em análises clínicas. Além disso, a luz espalhada pelas partículas pode ser modificada pelas moléculas existentes em sua superfície, devido a um fenômeno conhecido como *Efeito Raman*. Esse efeito, no caso de nanopartículas de ouro, é extremamente intenso, e a análise da luz espalhada permite traçar a impressão digital da espécie química com altíssima sensibilidade, que pode chegar a uma única molécula.

Assim, pelo fato de modificar as propriedades dos átomos de superfície, toda a química e a física dos materiais é alterada na escala nano.

Há exemplos de fatos e/ou fenômenos da natureza que inspiram pesquisas em nanotecnologia ou de interesse para a pesquisa nanotecnológica. Além do caso das patas das lagartixas quando andam no teto sem cair, seria o mesmo com os fenômenos de iridescência (das asas das borboletas, da madrepérola, das bolhas de sabão, do arco-íris)?

Eu gosto de dizer que o nosso mundo é essencialmente nanométrico, para afastar aquela ideia de que a palavra nano seja algo que possa assustar. Na natureza, graças à organização dos constituintes em nível nanométrico, gera-se uma ordem que dá origem a muitas novas propriedades. Uma delas é a cor nano.

Assista & Reflita do Club 33

Na realidade, a luz visível é formada por ondas (eletromagnéticas) com tamanhos entre 400 e 760 nanômetros. São essas ondas eletromagnéticas que conseguem impressionar os sensores fotoquímicos de nossa retina, para gerar os impulsos que formam a visão em nosso cérebro.

Os materiais estruturados atuam como uma rede, ou peneira, que só deixa passar a luz cujo comprimento de onda coincide ou for múltipla do espaçamento das unidades repetitivas dos mesmos. Esse fenômeno é conhecido como difração. Quando essa condição não é satisfeita, ocorre interferência da luz, e ela se cancela.

Pelo fato de a luz ter dimensões nanométricas, muitos objetos nanoestruturados apresentam coloração nano, geralmente reconhecida pelas características iridescentes. É o caso da asa da borboleta, das belas e caríssimas pedras de opala, e até dos olhos azuis.

Que aplicações poderia ter essa cor nano?

Muitos setores da tecnologia já trabalham nas cores nano, para produzir revestimentos coloridos sem o uso de pigmentos, ou que mudam de cor mediante estímulos físicos ou químicos (efeito camaleão). Essa propriedade é muito interessante, e está sendo empregada nos chamados cristais fotônicos, que exibem diferentes cores em função de uma voltagem aplicada, para uso em displays e outdoors.

E as propriedades ligadas à água?

A exploração das forças que ligam a superfície de

Assista & Reflita do Club 33

um material ao meio exterior constitui outro recurso fantástico da natureza. Dependendo dessas forças, uma superfície pode ter muita afinidade pela água (superfície hidrofílica), ou pode ter afinidade oposta, repelindo-a (superfície hidrofóbica).

Neste último caso, os materiais passam a ter afinidade por substâncias imiscíveis em água, como o óleo. Por meio de modificações químicas, é possível deixar uma superfície hidrofílica ou hidrofóbica. Porém, quando além desse efeito, se incorpora uma rugosidade em escala nanométrica – por exemplo, mediante depósito de nanopartículas –, o resultado é um efeito super-hidrofóbico.

E como podemos usar esse efeito em nosso benefício?

Nesse caso, como a água não consegue ficar parada sobre a superfície do material, ela acaba carregando todos os detritos de sujeira, tornando o material autolimpante. Esse feito também é conhecido como *Efeito Lótus*, observado através das gotículas brilhantes de água que ficam dançando sobre as folhas dessa planta aquática.

Alguns insetos e répteis exploram com sucesso o *Efeito Lótus*, graças às nanopilosidades em suas minúsculas patas ou asas, e dessa forma patinam sobre a água ou não se molham pela chuva. Outros, como as lagartixas, utilizam o efeito inverso, gerando aderência sobre superfícies devido aos milhões de nanocontatos que atuam como ventosas.

Esses fatos não são mera curiosidade. Na realidade

Assista & Reflita do Club 33

o *Efeito Lótus* já está sendo aperfeiçoado pela nanotecnologia para gerar tecidos e revestimentos autolimpantes, aplicados em vários produtos no mercado, principalmente em roupas de trabalho, capas de chuva e artigos esportivos.

Existem diversos projetos científicos e tecnológicos dirigidos para o tratamento de superfície de tubulações, mediante o uso do *Efeito Lótus*, visando a melhorar o escoamento de fluídos. Uma conquista de enorme impacto estaria, sem dúvida, no setor do petróleo, no qual a lentidão do escoamento gera perdas enormes em termos de custo e desempenho. Da mesma forma, superfícies autoaderentes estão sendo desenvolvidas por intermédio da nanotecnologia para serem utilizadas em processos nos quais não é interessante o uso de colas.

Para o leigo, como para cientistas do passado, parecia impossível que pudéssemos manipular átomos e moléculas um a um, e com eles produzir objetos, peças, máquinas ou robôs. Como foi possível tal conquista? Que recursos básicos são requeridos para esse trabalho de manipulação de átomos e moléculas? Que contribuições à nanotecnologia nos deram avanços como o efeito de tunelamento (tunneling effect)?

A manipulação de átomos de moléculas, na realidade, é mais um conceito do que uma prática. Realmente é possível fazer isso, com enorme precisão, por meio das ferramentas como as microscopias de varredura de sonda, conhecidas como AFM (*atomic force microscopy*) e STM

Assista & Reflita do Club 33

(*scanning tunneling microscopy*).

O segredo dessas técnicas é conseguir que uma pequena ponta se movimente com alta precisão, em passos subnanométricos. Na realidade, isso não é muito complicado. Existem cristais conhecidos com o nome de piezoelétricos, que mudam de tamanho quando aplicamos uma pequena voltagem, e vice-versa. Esses cristais são utilizados nos fones de ouvido e equipamentos de som, para transformar impulsos elétricos em som e vice-versa.

Quando uma minúscula ponta é colada sobre um cristal piezoelétrico, ela passa a deslocar-se com precisão atômica, mediante simples aplicação de uma voltagem. Para obter uma imagem, temos ainda de medir a força da interação da ponta com a superfície da amostra.

Isso pode ser feito por atenuação da vibração sofrida pela ponta (sonda) oscilante quando ela se aproxima da superfície (AFM), ou pela coleta dos elétrons que fluem da superfície para a ponta, quando o material tiver características metálicas. Essa descoberta valeu o Prêmio Nobel a Gerd Binnig e Heinrich Rohrer em 1986.

A microscopia de varredura de sonda (AFM, STM) tornou-se uma ferramenta essencial na nanotecnologia, por oferecer mais do que uma simples imagem da superfície com resolução atômica. Ela também permite obter informações importantes sobre a natureza química da superfície, tipos de átomos, distribuição de cargas elétricas, sítios magnéticos, condutividade, aderência etc. Hoje é possível programar o microscópio de força

Assista & Reflita do Club 33

atômica e tunelamento para realizar deslocamento de átomos, e dessa forma fazer desenhos e gravar informações em escala nanométrica.

Entretanto, embora seja possível, essa técnica não foi planejada para realizar montagens de objetos ou máquinas nanométricas, por meio da manipulação de átomos. Essa tarefa levaria um tempo imenso para ser conduzida, teria um custo exorbitante e não teria boas perspectivas de sucesso, a não ser em casos muito simples.

Qual é solução, então?

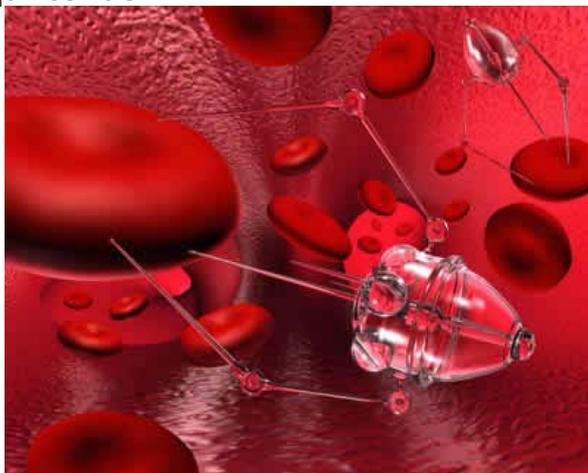
A única solução para isso é o desenvolvimento de sistemas químicos inteligentes, capazes de se montar de forma espontânea (automontagem), em condições ambientes, com baixa demanda de energia e baixo índice de falhas. Essa abordagem já existe, e é conhecida como supramolecular.

Justamente é essa a abordagem utilizada pelos sistemas biológicos, e que tem sido a meta principal do nosso laboratório na USP.

Na abordagem supramolecular, podemos gerar uma molécula capaz de, por exemplo, absorver luz e ligá-la a outra, que consegue utilizar essa luz para emitir elétrons, depois conectá-la a uma nanopartícula que recebe esses elétrons, gerando uma corrente elétrica. O resultado é uma nanomáquina que converte luz em eletricidade, da mesma maneira como acontece na fotossíntese. Neste último caso, os elétrons são utilizados para alimentar um sistema que leva à produção de açúcares.

Assista & Reflita do Club 33

Como é esse conceito de nanomáquina ou nanorrobô? Um desses minúsculos robôs se parece com os tradicionais, isto é, tem rodinhas, braços e antenas?



O conceito de nanomáquinas e nanorrobôs está relacionado com a simulação das biomoléculas naturais, que de fato agem como tais. Só que elas não terão

rodinhas, nem braços ou antenas. Serão simplesmente moléculas associadas de forma inteligente, projetadas e programadas para uma determinada função, com uma arquitetura própria, funcional.

No futuro, essas entidades supramoleculares poderão de fato agir como nanorrobôs, ao incorporar propriedades sensoriais e de comunicação com o meio externo, para responderem a estímulos e alterar sua programação. Essas entidades poderão ser bastantes úteis na detecção e solução ou remediação de problemas em nosso organismo, e já estão sendo pensadas para uso até em outras situações, como na prospecção e exploração do petróleo.

Entretanto, algumas décadas ainda nos separam dessa futura realidade.

Assista & Reflita do Club 33

O senhor crê na possibilidade de desenvolvimento de nanorrobôs?

A idéia de nanorrobôs sempre esteve associada ao pensamento original de Eric Drexler, que foi uma inspiração para a era nano. Ao demonstrar a possibilidade de construir engrenagens e máquinas de dimensões nanométricas, Drexler fez o mundo mergulhar nos enredos dos filmes de ficção, como *A Viagem Fantástica*, e chamou a atenção do mundo para a tecnologia nano.

Na prática, usando as ferramentas mais sofisticadas, talvez sejamos capazes de construir um nanorrobô para alguma finalidade muito específica. Contudo, não seria compensador, sob qualquer ponto de vista, a não ser para contemplar. Os cientistas acreditam que é melhor investir no desenvolvimento da automontagem, construindo peças moleculares em abordagem convergente, isto é, para serem encaixadas no momento certo, para gerar uma máquina útil.

É como trabalhar com peças de Lego. Isso é perfeitamente viável. Essas máquinas, depois, poderiam ser novamente trabalhadas no sentido convergente, para gerar uma entidade mais articulada, talvez um nanorrobô. Dá para fazer com Lego, mas ainda ainda é um sonho supramolecular.

Não lhe parece ainda pura ficção que os nanorrobôs possam se autorreplicar? Quando iremos produzir máquinas mais simples capazes de autorreplicar-se? Já se faz algo nessa área?

Assista & Reflita do Club 33

Moléculas autorreplicantes foram, de fato, descritas há cerca de uma década, porém sem qualquer vinculação com os nanorrobôs. Para que uma molécula se autorreproduza, ela deve atuar como um catalisador (multiplicador), e ser capaz de unir as partes segundo a sua própria forma. Ou seja, ela se torna um molde para sua própria fabricação. Por ser extremamente difícil, essa área evoluiu muito pouco. Eu diria que a autorreplicação é um dos limites ou desafios extremos na química supramolecular. Só não afirmo que é impossível porque o DNA é uma molécula autorreplicante, e é real. Porém precisamos de enzimas (nanomáquinas naturais) para fazer isso.

Quando tivermos um elenco de moléculas autorreplicantes, passarei a acreditar seriamente em máquinas autorreplicantes. Por enquanto, prefiro curtir uma boa leitura de ficção, como o *Prey*, que, infelizmente, se tornou uma bandeira para as ONGs que combatem a nanotecnologia.

Vi em Paris e na Alemanha manifestações ruidosas de grupos ambientalistas contrários ao desenvolvimento da nanotecnologia. Como é senhor vê essas reações? Que cuidados especiais devem ser exigidos das pesquisas e dos laboratórios de nanotecnologia?

A nanotecnologia é, talvez, a mais abrangente das áreas do conhecimento. Ao contrário da microtecnologia, que teve como foco principal a eletrônica, a nanotecnologia lida com tudo, desde a eletrônica até a medicina. Seu poder de mudanças

Assista & Reflita do Club 33

já foi reconhecido há muito tempo, e é natural que cause preocupações de toda natureza. Porém, alguns mitos precisam ser desfeitos:

a) O nano não é coisa nova, artificial, criada pelo homem. Ele sempre foi parte da natureza e de nós mesmos, por meio das biomoléculas que promovem a vida. Ele está no arco-íris, na asa da borboleta, no brilho das pedras e do asfalto, e em tudo que ingerimos, do leite ao café, e respiramos.

b) Nanopartículas são coisas perigosas e tóxicas. Na realidade a reatividade química das nanopartículas é muito menor que a dos átomos e moléculas. Estas últimas tem ação imediata no organismo, e até matam. Porém a sociedade aprendeu a lidar com a química, formando profissionais competentes para isso. A química deve ser conduzida por químicos, não por leigos.

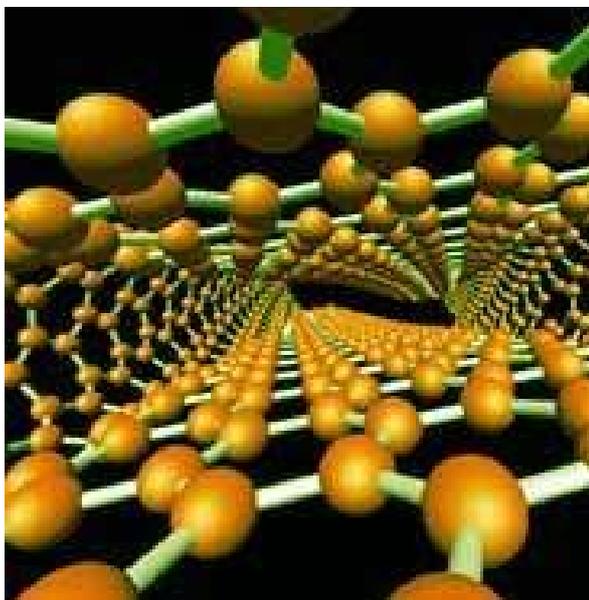
As nanopartículas, quando livres ou injetadas no organismo, podem ter efeito positivo ou negativo, dependendo de sua natureza ou propósito. No contexto nano, a quantidade utilizada sempre é muito baixa, pois as nanopartículas estão sujeitas à aglomeração quando em altos teores. A justificativa de seu uso está justamente na baixa quantidade utilizada. Apesar de não se estar livre de algum nível de toxicidade, ela certamente seria mais branda do que a utilização direta dos ativos transportados pelas nanopartículas. Como acontece com a química, o trabalho com as nanopartículas deve ser regulamentado, exigindo-se competência profissional adequada. Sem dúvida, esse será um item a ser discutido pelos conselhos profissionais.

Assista & Reflita do Club 33

Na prática, as maiores aplicações das nanopartículas estão na formação dos compósitos, mediante associação com os plásticos (polímeros). Nesse caso, elas ficam imobilizadas dentro do material para promover seu reforço, e não oferecem qualquer risco para o usuário.

Assim, é importante que não se coloque tudo que é **nano**, dentro de um mesmo saco. Existe um lado bom e outro ruim em tudo que conhecemos. Nada neste mundo é isento de riscos, e esse é um bom motivo para investirmos na formação de profissionais qualificados na área nano. Sempre se diz que, no passado, o Brasil perdeu o bonde da microtecnologia. Não podemos perder o bonde da nanotecnologia, que está passando bem à nossa frente!

Professor Henrique Toma, o senhor poderia citar alguns produtos e/ou processos industriais já consolidados, nascidos de avanços da nanotecnologia? Além dos tecidos que não molham, não mancham, um dos materiais especiais mais celebrados são nanotubos de carbono. Há outros tão ou mais importantes? Que aplicações práticas terão,



por exemplo, os nanotubos de carbono e outras nanoestruturas de carbono e/ou de outros elementos ou substâncias? Estamos

om.br/

Assista & Reflita do Club 33

presenciando no momento à explosão dos materiais que incorporam nanopartículas. São os chamados nanocompósitos. É realmente formidável que a simples incorporação de 1% a 5% de nanopartículas de materiais, como argilas e óxidos, possa alterar drasticamente a qualidade dos plásticos, tornando-os mais resistentes, menos permeáveis ao ar (preservando a qualidade dos alimentos) e mais resistentes à chama, sem comprometer sua reciclabilidade.

E quanto aos custos?

O aumento de custo é insignificante em relação à questão custo/benefício. Com isso, podem-se utilizar menos plásticos (portanto, menor poluição) e aumentar o tempo de vida de prateleira – aspecto crucial em países como o Brasil, onde os produtos são transportados por via terrestre e precisam de embalagens do tipo longa vida.

Empresas brasileiras inovadoras, como a Plásticos Mueller, localizada no bairro de Santo Amaro, em São Paulo, já demonstraram sua capacidade de produzir nanocompósitos para a indústria automotiva, com vantagens sobre os materiais usados atualmente, por exemplo, pela maior leveza, moldabilidade e segurança para o condutor (não forma estilhaços).

E o caso clássico da prata coloidal?

Nanopartículas de prata estão invadindo todos os setores da indústria de fibras e de plásticos por causa de suas propriedades antibacterianas. A prata

Assista & Reflita do Club 33

sempre foi uma grande aliada nossa, como revestimento antibacteriano nos velhos potes de barro. Essa tecnologia introduzida pelo professor Robert Hottinger, da Escola Politécnica, há cerca de 100 anos, realmente salvou milhões de vidas. Hoje ela retorna, camuflada sob a forma de nanocompósitos em utensílios domésticos, refrigeradores e produtos hospitalares.

É interessante notar que as nanopartículas de prata são mais efetivas que os sais de prata utilizados em diversas formulações. E têm um tempo de ação muito maior, atuando em um nível de concentração muito abaixo dos limites de segurança estipulados para esse metal.

Mas, e os nanotubos de carbono?

Os nanotubos de carbono são estruturas nanométricas de carbono de formato cilíndrico que apresentam propriedades inusitadas, por exemplo, a elevada resistência mecânica (maior que a do aço), excelente condutividade elétrica (condução balística) para uso em dispositivos eletrônicos, e leveza.

Contudo, são de alto custo, e sua produção ainda é bastante limitada para uso em larga escala, em nível industrial. Existem várias formas de nanotubos de carbono, pois podem envolver vários tubos concêntricos (um tubo envolvendo o outro), o que pode gerar problemas para sua separação e tratamento.

Dependendo das formas de produção, podem incorporar grandes quantidades de metais, como ferro e seus óxidos no interior, exigindo

Assista & Reflita do Club 33

processamento químico e outras etapas de purificação. Na área de eletrônica, os nanotubos já começam a ceder espaço para os grafenos, que são na realidade os filmes planares de carbono que dariam origem aos nanotubos, quando enrolados.

Que avanços e aplicações poderemos esperar nos próximos: a) 5 anos? b) 10 anos? c) 15 anos?

Até os próximos 5 anos, os maiores avanços e aplicações ainda estarão ligados ao setor de nanocompósitos, utilizando nanopartículas de argila, dióxido de titânio, óxidos de zircônio, sílica e óxidos de ferro como aditivos de performance em plásticos, tintas, adesivos, têxteis, coberturas e embalagens. Esse mercado é imenso e inesgotável. Tudo que é feito de plástico hoje poderá ser melhorado com os nanocompósitos. Até o velho pneu, que é feito de borracha e nanopartículas de carbono, já está sendo substituído pelo pneu verde (*green tire*), incorporando nanopartículas de sílica ou argila. O novo pneu tem melhor desempenho, sofre menos aquecimento e é reciclável.

Em paralelo, outro setor que está tendo enormes benefícios com a nanotecnologia é o de cosméticos, produtos nutricionais e farmacêuticos. Existem muitos motivos para isso: o encapsulamento de ativos, ou sua incorporação em nanopartículas e nanoestruturas porosas, permite a liberação lenta e controlada dos mesmos, melhorando o desempenho global.

Essa liberação lenta e controlada de medicamentos

Assista & Reflita do Club 33

no organismo é, realmente, uma questão relevante?

Sim. Um dos problemas mais graves associados aos produtos farmacêuticos convencionais é o pico de concentração provocado pela ingestão da droga, que pode provocar reações indesejáveis. A liberação controlada evita esse problema.

Ao mesmo tempo, é possível encapsular uma droga que, na forma livre, seria demasiadamente tóxica, tornando-a útil em termos terapêuticos. Em muitas aplicações, especialmente de natureza médica, os ativos nanoencapsulados podem agir no interior das células, se foram programados para tal função.

Nos próximos 10 anos, os nanoproductos ficarão mais sofisticados. Terão um desenho próprio e uma ação mais avançada em todas as suas aplicações.

Nos próximos 15 anos, haverá um crescimento expressivo na área de materiais moleculares e da nanoeletrônica. Da mesma maneira como já ocorreu com os monitores de televisão e computadores, por intermédio das telas de cristais líquidos

(moleculares) e OLEDs (*organic light emitting devices*), as moléculas deverão invadir os domínios da eletrônica e dispositivos, incluindo sensores, memórias, portas lógicas para processamento.

Não podemos esquecer que são as moléculas que movimentam nosso cérebro, e que este é o melhor computador existente, capaz de executar 17 potências de 10 (100 quatrilhões) em termos de processamento por segundo. Não tem qualquer semelhança com o computador atual, porém é mais eficiente e sua base é essencialmente molecular. Por outro lado, as moléculas têm um padrão de lógica,

Assista & Reflita do Club 33

que bate de longe qualquer dispositivo eletrônico de estado sólido.

Que aplicações médicas podemos esperar desses materiais?

Os materiais moleculares irão invadir a medicina, como já está acontecendo, facilitando o reconhecimento de células cancerígenas e a sua destruição. Poderão atuar diretamente na terapia genética, ou no diagnóstico de problemas em tempo real. As promessas que estamos presenciando nos congressos de nanotecnologia médica ou nanomedicina realmente estão apontando para um futuro incrível, indo desde a regeneração de tecidos e ossos ao tratamento do câncer.

Que outras áreas de aplicações lhe parecem mais sedutoras ou prioritárias? Saúde, medicina, eletrônica, combate à poluição, agricultura? Que problemas poderá enfrentar a nanotecnologia?

Já fiz alguns comentários sobre a saúde e medicina, que sem dúvida terão grandes avanços com a nanotecnologia. Porém, ao mesmo tempo, irão esbarrar em enormes problemas com as agências reguladoras, como a Anvisa, que, infelizmente, não foram preparadas para lidar com esse tipo de inovação.

A eletrônica já está cada vez mais nano. Os cientistas eletrônicos atualmente só falam em nanopartículas, nanofilmes, nanotubos de carbono, grafenos, nanoferroelétricos, nanoferrromagnéticos etc. Todos os avanços conquistados na eletrônica

Assista & Reflita do Club 33

tiveram sua origem no mundo nano. O último Prêmio Nobel, para o inventor dos dispositivos magnéticos de *spin*, documenta bem esse fato. O uso da nanotecnologia no combate à poluição será uma consequência do desenvolvimento da área, pois ao mesmo tempo que desenhamos uma nanopartícula magnética para transportar medicamentos, podemos modificá-la para remover um poluente ou inibir a sua ação.

Temos vários exemplos nesse sentido, desenvolvidos em nosso laboratório. A nanotecnologia também poderá contribuir na detecção ou sensoriamento de poluentes, identificando quantidades ínfimas de agentes indesejáveis, e de forma mais eficiente.

Também acredito que a agricultura será uma grande beneficiada do desenvolvimento global da nanotecnologia, tanto pelos novos materiais, novos métodos de análise quanto pelo sensoriamento de doenças e pragas. A Embrapa já está investindo em nanotecnologia, contando com instalações especializadas nessa área.

Além do sensoriamento, como a língua eletrônica que permite classificar bebidas como o vinho, a nanotecnologia poderá contribuir para o aumento da qualidade no setor de conservação e embalagem de produtos agrícolas, retardando a maturação das frutas de exportação e garantindo maior sobrevida e qualidade aos mesmos.

Quando, a seu ver, poderemos esgotar as possibilidades da microeletrônica atual, chegando

Assista & Reflita do Club 33

aos limites moleculares ou atômicos? Como será um nanochip?

O conceito de eletrônica molecular já está demonstrado. Existe, porém, o desafio da arquitetura computacional a ser trabalhada.

Estamos numa situação semelhante à da transição da eletrônica de válvulas para a eletrônica baseada nos transistores de estado sólido. Depois teremos de passar para outro desafio ainda maior, que é a integração dos dispositivos em larga escala, que tornou possível o desenvolvimento do chip. Temos, portanto, um longo caminho.

Até lá, poderão surgir outras possibilidades na área nano, por meio da spintrônica e dos dispositivos quânticos. Estes últimos poderão ser movidos por átomos, ainda muito menores que as entidades nano.

Sinteticamente, como poderíamos caracterizar o estado atual de desenvolvimento da nanotecnologia no mundo? O progresso dessa área tem sido realmente muito grande? Estados Unidos, Europa e Japão têm investido recursos expressivos em P&D nessa área?

Talvez, por estar mergulhado no mundo na nanotecnologia, eu me espanto cada vez mais com os progressos que estão ocorrendo em todo o mundo. Esses progressos ainda estão concentrados no setor acadêmico, mas sua amplitude nos dá uma certeza incontestável de que irão provocar mudanças dramáticas no setor privado.

Essa certeza está fundamentada principalmente no

Assista & Reflita do Club 33

investimento da qualidade dos recursos humanos que atuam em nanotecnologia. Sinto isso diretamente, na medida em que está sendo cada vez mais difícil competir para sobreviver cientificamente nessa área. A área nano já está incluída em todas as revistas científicas, seja em química, física, biologia, medicina, metalurgia, materiais, cosméticos, farmacêuticos, plásticos, têxteis ou eletrônica.

O nível das publicações na área nano é extremamente elevado, e o sucesso alcançado já é notável em países até em desenvolvimento, como a Índia e o Irã, principalmente pelo investimento que tem sido feito nesse setor, gerando programas, centros e instalações estratégicas para alavancar as pesquisas e a interação com o setor produtivo.

E no Brasil? Em especial, qual é a situação da USP e de seu laboratório? Os recursos são suficientes? Que grau de prioridade têm essas pesquisas nas universidades brasileiras?

No Brasil, a despeito das dificuldades, temos de reconhecer que a ciência e a tecnologia passam por uma fase de ouro, em termos de estímulos e investimento, quando comparamos com o passado. Na realidade, foi uma evolução gradual iniciada nas últimas décadas, que conduziu o País à honrosa posição de 13º produtor de ciência no contexto mundial. Como docente, estou bastante orgulhoso da colocação da USP na 38ª posição no ranking das universidades do mundo, à frente da maioria das universidades europeias.

Assista & Reflita do Club 33

Nosso laboratório vem atuando em quase todas as frentes da nanotecnologia molecular, começando da química até chegar às nanoestruturas complexas e depois aos dispositivos para sensoriamento, fotoconversão de energia, eletrônica e catálise. Em nosso trabalho, temos estimulado o lado empresarial dos nossos alunos, que já formaram suas próprias empresas de nanotecnologia. Ao longo dos anos, estabelecemos um leque imenso de colaborações, tanto com cientistas quanto com empresários, e estamos atuando intensamente no fortalecimento das relações uUniversidade-empresa, por meio de mais de uma centena de palestras e visitas, incluindo nosso apoio ao evento Nanotec Expo, que tem sido realizado anualmente em São Paulo com grande sucesso, pela iniciativa privada. Graças aos incessantes contatos e mensagens recebidas, tenho a convicção de que a área nano já faz parte das preocupações da maioria das empresas em São Paulo. Isso reflete uma estratégia que deveria ser mais valorizada e explorada pelo setor governamental, em busca de inovação e transferência de tecnologia.

Fonte: Coluna do Estadão – Ethevaldo Siqueira