

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**Nanotecnologia e Nanociências – Uma abordagem
interdisciplinar**

Por

Elaine Cesar do Carmo

Defesa da Monografia como requisito à conclusão do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), para obtenção da Graduação em Licenciatura em Química, sob orientação do Professor Roberto de Barros Faria.

Rio de Janeiro, março de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: Licenciatura em Química

Licencianda: Elaine Cesar do Carmo

Orientador: Professor Roberto de Barros Faria (DQI/IQ/UFRJ)

**Título da Monografia: Nanotecnologia e Nanociências – Uma abordagem
interdisciplinar**

BANCA EXAMINADORA:

Professor João Massena de Melo Filho (DQI/IQ/UFRJ)

Professor Marcoaurélio Almenara Rodrigues (DBQ/IQ/UFRJ)

Prof. Roberto Marchiori (DQI/IQ/UFRJ)

Rio de Janeiro, 17 de março de 2008.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Roberto de Barros Faria, orientador e amigo, sempre acessível nos momentos em que solicitei sua ajuda.

Ao professor João Massena de Melo Filho, pelo voto de confiança, ao permitir que eu retornasse ao Curso de Licenciatura.

Aos professores Marcoaurélio Almenara Rodrigues e Roberto Marchiori, que fizeram parte de minha jornada acadêmica e contribuíram para meu engrandecimento intelectual.

Ao amigo Marcus Aurélio que, sempre a meu lado, não permitiu que eu desanimasse nos momentos difíceis.

Aos amigos Alan Minho e Egnaldo Maciel, que colaboraram de forma significativa para que eu concretizasse esta monografia.

Aos meus pais, *in memoriam*, a quem devo tudo o que sou.

“O homem confiante em si, positivo, otimista, que acredita em seu trabalho, com a segurança de que será coroado de êxito, magnetiza a sua condição, e atrai para si as forças criadoras do Universo”.

Norman Vincent Peale

RESUMO

O rápido crescimento da nanotecnologia, impulsionada pelo avanço da ciência e da sua importância econômica, já começa a trazer a preocupação de como preparar os cidadãos para a recepção desta nova inovação, catalogada por muitos como uma nova revolução tecnológica.

Embora haja uma atitude geral de otimismo face às inovações tecnológicas e às novas promessas tecnológicas, em particular na melhora de qualidade de vida e em questões de saúde, existem temores e incertezas diante da nova tecnologia.

Nesta monografia é discutido o tema Nanotecnologia e Nanociências sob um panorama geral, através de conceitos e aplicações. Sendo o seu conteúdo interdisciplinar, o tema é desenvolvido com a preocupação de focar em determinados pontos ligados à área da química, como síntese, caracterização, propriedades estruturais e funcionais.

A questão ambiental também é abordada, visto que a nanotecnologia vem contribuir para o desenvolvimento sustentável do País, pois há economia de materiais, menos poluição e maior eficiência.

Procura-se mostrar que a Nanotecnologia é essencialmente interdisciplinar, sendo esse um dos seus pontos-chave. Esse aspecto é tratado com maior profundidade na parte final do trabalho, em que serão discutidas as mudanças curriculares do Ensino Médio, promovidas pela LDB e DCNEM.

São discutidas a importância e os efeitos esperados pela introdução desse novo tema no Ensino Médio, visando à formação de um cidadão melhor informado e mais consciente do seu papel no mundo moderno.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1** Comparação de escala dimensional entre o planeta, o homem e o seu protótipo molecular, montado por manipulação atômica, isto é, átomo a átomo. 12
- Figura 2.2** Dimensões representativas de algumas espécies típicas, em suas várias escalas. Um nanotubo de carbono é dez mil vezes mais fino que um fio de cabelo, porém pode abrigar várias moléculas em seu interior. 13
- Figura 2.3** As nanocápsulas são as atuais “estrelas” da cosmética. A Lancôme já lançou cremes preparados com essa tecnologia. 19
- Figura 3.1** Idade Média: nanopartículas de ouro para coloração vermelho-rubi em vitrais. 22
- Figura 3.2** Sólidos de quantum dot, contendo nanocristais de CdSe dispersos em uma matriz polimérica, atravessam o espectro visível quando excitados com luz ultravioleta. 24
- Figura 5.1** Estrutura da hemoglobina, com as quatro unidades protéicas associadas e os núcleos porfirínicos responsáveis pela captação e transporte de oxigênio molecular. Na hemoglobina, as unidades se comunicam, atuando de forma cooperativa na captura de oxigênio. É uma máquina molecular inteligente. 33
- Figura 6.1** Imagem artística da estrutura do diamante. 37
- Figura 6.2** Imagem artística da estrutura do grafite. 38
- Figura 6.3** Modelo da estrutura de um nanotubo de carbono e de uma “Buckybola” (Fullereno). 39
- Figura 6.4** A automontagem de uma porfirina com quatro unidades de clusters de rutênio periféricos está sendo representada pela simples associação de peças de LEGO. Esse quadro ilustra como os complexos metálicos podem ser usados para construir estruturas supramoleculares

- dotadas de funcionalidade. A associação entre os componentes é dirigida pela afinidade química. 40
- Figura 6.5** Compostos magnéticos podem ser utilizados para limpar o óleo derramado na água. Essa tecnologia já existe e foi desenvolvida por pesquisadores brasileiros. 41
- Figura 6.6** Tratamento de tumores com sensibilizadores fotoquímicos immobilizados em nanopartículas magnéticas. O ímã concentra as nanopartículas na região terapêutica. O sensibilizador, sob ação da luz, produz espécies ativas de oxigênio, que levam à destruição do tumor. 42
- Figura 6.7** Quantum dots vermelhos injetados em um rato vivo permitem fazer a marcação do tumor. 43
- Figura 7.1** Conheceu algo novo na nanoaventura? O que? 52
- Figura 7.2** Lembranças da visita 53
- Figura 7.3** Para que se usa a Nanotecnologia? 54
- Figura 7.4** 1- Formiga segurando um micro-chip. 2- Cabeça de uma pulga. 3- Zoom de um fio de cabelo. 4- Células do sangue. 5- Bactéria E-coli. 6- Vírus bacteriófago. 7- Proteína Rubisco. 8- DNA. 9- Quatro partículas de ouro formando um fio. 56

LISTA DE ABREVIATURAS

CNE	Conselho Nacional de Educação
DCNEM	Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
HOMO	Orbital molecular de energia mais alta
LDB	Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional
LUMO	Orbital molecular de energia mais baixa
ONU	Organização das Nações Unidas
UNB	Universidade de Brasília
UNICAMP	Universidade de Campinas
WWW	World Wide Web

SUMÁRIO

Folha de aprovação	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Lista de figuras	vi
Lista de abreviaturas	viii
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIAS: CONCEITOS E BREVE HISTÓRICO	12
3 - OS NANOMATERIAIS E SUAS PROPRIEDADES ESPECIAIS	20
3.1 – Definições	20
3.2 – Algumas propriedades especiais	23
4 – CARACTERIZAÇÃO E FABRICAÇÃO DE NANOMATERIAIS.....	26
4.1 – Microscopia de varredura: a pioneira na caracterização	26
4.2 – Fabricação de cima para baixo	27
4.3 – Fabricação de baixo para cima	27
4.3.1 – Síntese de nanopartículas em solução	27
4.3.2 – Síntese de nanopartículas em fase vapor	29
4.3.3 – Diferenças entre as técnicas em solução e em fase vapor	29
5 – O MODELO MAIS PERFEITO DE NANOTECNOLOGIA: AS NANOMÁQUINAS BIOLÓGICAS	31

5.1 – Biomoléculas que atuam de forma inteligente	32
6 – QUÍMICA SUPRAMOLECULAR E OS ARQUITETOS DE MOLÉCULAS: BRINCANDO DE “LEGO”	35
6.1 – A automontagem – moléculas sob controle	35
6.2 – As várias formas do carbono: um show de nanoestruturas	37
6.3 – As inúmeras utilidades dos complexos metálicos	39
6.4 – Nanopartículas magnéticas	41
6.5 – <i>Quantum dots</i> (pontos quânticos)	42
7 – A INTERDISCIPLINARIDADE E AS MUDANÇAS NO ENSINO MÉDIO	44
7.1 – A LDB e as DCNEM	44
7.2 – Nanotecnologia e Nanociências: a interdisciplinaridade	44
7.3 – Uma proposta pedagógica: a Nanoaventura na escola	51
7.4 – Nanotecnologia: o tema em sala de aula	55
7.4.1 – Nanotecnologia e Meio Ambiente	58
7.4.2 – Questões que podem ser abordadas em sala de aula	59
8 – CONCLUSÃO	62
9 – REFERÊNCIAS	65

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O tema Nanotecnologia e Nanociências será discutido sob um panorama geral, através de conceitos e aplicações. Será dado foco em pontos ligados à área da Química, como síntese, caracterização, propriedades e estruturas funcionais. O assunto será abordado de maneira interdisciplinar, ressaltando ainda a importância e efeitos esperados com a introdução do tema no Ensino Médio, levando em consideração a LDB e as DCNEM.

O discurso do Físico norte-americano Richard Feynman, feito em 29 de dezembro de 1959, no encontro anual da Sociedade Americana de Física (APS), no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), foi um marco para o surgimento da nanotecnologia. Trechos do discurso de Feynman servirão de base para todo o desenvolvimento deste trabalho:

“... Eu imagino que um físico experimental deva frequentemente olhar com inveja para homens como Kamerlingh Onnes, que descobriu o campo das baixas temperaturas, que parece não ter fim e no qual se pode sempre ir mais além e mais fundo. Um homem assim é um líder e tem um certo monopólio temporário na aventura científica. Percy Bridgman, ao projetar um meio de obter altas pressões, abriu outro novo campo e foi capaz de penetrar nele e de orientar-nos nesse novo percurso. O desenvolvimento de vácuos mais e mais perfeitos foi um desenvolvimento contínuo do mesmo tipo.

Eu gostaria de descrever um campo no qual pouco tem sido feito, mas no qual, em princípio, uma enormidade pode ser conseguida. Esse campo não é exatamente do mesmo tipo que os outros, no sentido em que não nos dirá muito sobre a física fundamental (na linha de que “o que são partículas estranhas?”), mas assemelha-se mais com a

física do estado sólido, no sentido em que pode dizer-nos muitas coisas de grande interesse sobre os estranhos fenômenos que ocorrem em situações complexas; além disso, um aspecto muito importante é que esse campo terá um enorme número de aplicações técnicas.

O que eu quero falar é sobre um problema de manipular e controlar coisas em escala atômica.

Tão logo eu menciono isto, as pessoas me falam sobre miniaturização e o quanto ela tem progredido nos dias de hoje. Elas contam-me sobre motores elétricos com o tamanho de uma unha do seu dedo mindinho. E que há um dispositivo de mercado, dizem elas, com o qual se pode escrever o “Pai Nosso” na cabeça de um alfinete. Mas isso não é nada: é o passo mais primitivo e hesitante na direção que eu pretendo discutir. É um novo mundo surpreendentemente pequeno. No ano de 2000, quando olharem para essa época, elas se perguntarão por que só no ano de 1960 que alguém começou a se movimentar seriamente nesta direção.

Por que não podemos escrever os 24 volumes inteiros da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete?

Vamos ver o que estaria envolvido nisso. A cabeça de um alfinete tem um dezesseis avos de polegada de largura. Se você aumentar seu diâmetro 25.000 vezes, a área da cabeça do alfinete será igual a área de todas as páginas da Enciclopédia Britânica. Assim, tudo o que se precisa fazer é reduzir 25.000 vezes o tamanho de todo o texto da Enciclopédia. Isso é possível? O poder de

resolução do olho é cerca de 1/120 de uma polegada – aproximadamente o diâmetro de um dos pequenos pontos em uma das boas e vetustas edições da Enciclopédia. Isto, quando você diminui 25.000 vezes, ainda tem 80 angstroms de diâmetro – 32 átomos de largura, em um metal ordinário. Em outras palavras, um daqueles pontos ainda poderá conter em sua área 1.000 átomos. Assim, cada ponto pode ter seu tamanho facilmente ajustado segundo o requerido pela gravação, e não resta dúvida sobre se há espaço suficiente na cabeça de um alfinete para toda a Enciclopédia Britânica.”

Melhores microscópios eletrônicos

“... temos amigos em outros campos – em biologia, por exemplo. Nós, físicos, frequentemente os vemos e dizemos: vocês sabem a razão pela qual seus camaradas estão fazendo pouco progresso? Vocês deveriam usar mais matemática, como nós. Eles poderiam responder – mas eles são educados, então eu vou responder por eles: O que vocês poderiam fazer por nós para progredirmos mais rapidamente é fazer um microscópio eletrônico 100 vezes melhor”.

“... quais são os problemas mais centrais e fundamentais da biologia hoje? Há perguntas do tipo: qual a seqüência de bases no DNA? O que acontece quando há uma mutação? Como a ordem das bases de DNA está relacionada com a ordem dos aminoácidos nas proteínas? Qual é a estrutura do RNA? É uma cadeia simples ou dupla, e como a ordem de suas bases está relacionada ao DNA? Qual é a organização dos microssomos? Como as proteínas são sintetizadas? Onde está o RNA? Como atua?

Onde entram as proteínas? Qual o papel dos aminoácidos? Na fotossíntese, onde entra a clorofila, como está disposta, onde estão os carotenóides envolvidos? Qual é o sistema de conversão da luz em energia química?...”

O maravilhoso sistema biológico

“...O exemplo biológico de escrever informação em uma escala pequena inspirou-me a pensar em algo que pudesse ser possível. A biologia não é simplesmente escrever informação, é fazer algo com ela. Várias das células são muito pequenas, mas podem ser muito ativas; elas fabricam várias substâncias; deslocam-se; vibram-se; e fazem todos os tipos de coisas maravilhosas – tudo em uma escala muito pequena. Além disso, armazenam informação. Considerem a possibilidade de que nós também possamos construir algo muito pequeno que faça o que queiramos – que possamos fabricar um objeto que manobra naquele nível!”

Miniaturizando o computador

“... Eu não sei como fazer isso em uma escala pequena de uma maneira prática, mas eu sei que os computadores são bem grandes; eles preenchem cômodos inteiros. Por que não poderíamos fazê-los muito pequenos, fazê-los de pequenos fios, pequenos elementos – e, por pequeno, eu quero dizer pequeno. Por exemplo, os fios deveriam ter 10 ou 100 átomos de diâmetro, e os circuitos deveriam ter uns poucos milhares de angstroms de largura. Todo mundo que já tenha analisado a teoria lógica dos computadores já chegou à conclusão de que as possibilidades dos computadores são muitos interessantes – se eles puderem tornar-se mais complexos em várias

ordens de grandeza. Se eles tivessem milhões de vezes mais elementos, poderiam fazer julgamentos. Teriam tempo para calcular qual é o melhor caminho para fazer um cálculo que estejam prestes a executar. Selecionariam o método de análise que, de sua experiência, seja melhor do que o que lhes fornecemos. E, de muitas outras formas, eles teriam muitos aspectos qualitativos novos. Se eu olho para a sua face, eu reconheço imediatamente o que eu havia visto antes. Mas não há nenhuma máquina que, com essa velocidade, possa pegar a imagem de uma face e dizer nem mesmo que é um homem; e muito menos que é o mesmo homem que você mostrou antes – a menos que seja exatamente a mesma imagem. Se a face é alterada; se eu estou mais perto da face; se estou mais longe; se muda a luz – eu reconheço-a. Agora, este pequeno computador que eu carrego em minha cabeça é facilmente capaz de fazer isso. Já os computadores que construímos, não são. O número de elementos nesta minha caixa óssea é enormemente maior do que o número de elementos em nossos computadores “maravilhosos”. Mas nossos computadores mecânicos são muito grandes; os elementos nesta caixa são microscópicos. Eu quero fazer alguns submicroscópicos .”

“... Se quiséssemos fazer um computador que tivesse todas essas maravilhosas habilidades qualitativas extras, teríamos que fazê-lo, talvez, do tamanho do Pentágono. Isso tem várias desvantagens. Primeiro, precisa de muito material; pode não haver germânio suficiente no mundo para todos os transistores que teriam que ser colocados nessa coisa enorme. Há também o problema da geração de calor e consumo de potência; Mas

uma dificuldade ainda mais prática é que o computador seria limitado a uma certa velocidade. Por causa de seu enorme tamanho, é requerido um tempo finito para levar a informação de um lugar a outro. A informação não pode viajar mais rápido do que a velocidade da luz – assim, em última análise, à medida que nossos computadores tornam-se mais e mais rápidos e mais elaborados, teremos que fazê-los menores e menores.

Mas há muito espaço para fazê-los menores. Não há nada que eu possa ver nas leis físicas que diga que os elementos dos computadores não possam ser feitos enormemente menores que são atualmente. Na verdade, pode haver certas vantagens.”

Miniaturização e evaporação

“... Como faríamos um equipamento assim? Que tipo de processo de fabricação usaríamos? Uma possibilidade que poderíamos considerar, desde que conversamos sobre escrever e colocar átomos em uma certa disposição, seria vaporizar o material, e então vaporizar o isolante ao seu lado. Então, para a próxima camada, vaporizar outro fio em outra posição, outro isolante, e assim por diante. Assim, você simplesmente vaporiza até que você tenha um bloco que contenha os elementos – bobinas e condensadores, transistores, etc. – com dimensões extraordinariamente minúsculas.”

“... mas eu gostaria de discutir, só para nos divertirmos, que existem outras possibilidades. Por que não podemos fabricar esses pequenos computadores da mesma forma que fabricamos os grandes? Por que não

podemos furar buracos, cortar, soldar ou estampar coisas, modelar diferentes formas, tudo em um nível infinitesimal? Quais as limitações em relação a quão pequeno algo tem de ser antes que você não consiga mais modelá-la? Quantas vezes, quando você está trabalhando em algo tão frustradamente minúsculo como o relógio de pulso de sua esposa, você disse a si mesmo: “Ah! Se eu pudesse treinar uma formiga para fazer isso!” O que eu gostaria de sugerir é a possibilidade de treinar uma formiga para treinar um ácaro para fazer isso. Quais as possibilidades para máquinas diminutas, porém móveis? Elas podem ou não ser úteis, mas certamente seria muito divertido fazê-las.”

“... assim, quero construir um bilhão de pequenas fábricas, modelos umas das outras, que estão simultaneamente produzindo, fazendo buracos, juntando componentes, etc.”

“... à medida que diminuimos o tamanho, há um número de problemas interessantes que vão surgindo. As coisas não reduzem a escala simplesmente de forma proporcional. Há o problema de que os materiais unem-se pelas atrações intermoleculares (Van der Waals).”

“... Seria algo como isso: depois que você fabrica um componente e desparafusa uma porca, ele não cairá, porque a gravidade não é apreciável; seria mesmo mais difícil tirá-lo do parafuso. Seria como aqueles velhos filmes com um homem tentando se livrar de um copo d’água com as mãos cheias de melão. Haverá vários problemas dessa natureza com os quais deveremos estar prontos para lidar.”

Rearranjando os átomos

“... Mas não tenho medo de considerar a questão final em relação a se, em última análise – no futuro longínquo - , poderemos arranjar os átomos da maneira que queremos; os próprios átomos, no último nível de miniaturização! O que aconteceria se pudéssemos dispor os átomos um por um da forma como desejamos (dentro do razoável, é claro; você não pode dispô-los de forma que, por exemplo, sejam quimicamente instáveis).”

“... até agora, nós nos contentamos em escavar o chão para encontrar os minerais. Nós os aquecemos e fazemos coisas com eles em escala grande, e esperamos obter uma substância pura a partir de tanta impureza, e assim por diante. Mas temos sempre de aceitar alguns arranjos atômicos que a natureza nos dá. Não temos nada como, digamos, um arranjo do tipo “tabuleiro de damas”, com os átomos de impurezas dispostos exatamente 1.000 angstroms um dos outros, ou em algum outro tipo de padrão específico.”

“... quais seriam as propriedades dos materiais se pudéssemos realmente arranjar os átomos como bem entendêssemos? Elas seriam muito interessantes de se investigar teoricamente. Não posso ver exatamente o que aconteceria, mas dificilmente posso duvidar que, quando tivermos algum controle sobre a disposição das coisas na escala pequena, teremos um leque enormemente maior de propriedades possíveis para as substâncias, e de diferentes coisas que poderíamos fazer.”

Átomos no mundo pequeno

“... Quando vamos ao mundo muito, muito pequeno – digamos circuitos de sete átomos – acontecem uma série de coisas novas que significam oportunidades completamente novas para design. Átomos na escala pequena não se comportam como nada na escala grande, pois eles seguem as leis da mecânica quântica. Assim, à medida que descemos de escala e brincamos com os átomos, estaremos trabalhando com leis diferentes, e poderemos esperar fazer coisas diferentes. Podemos produzir de formas diferentes. Podemos usar não apenas circuitos, mas algum sistema envolvendo os níveis quantizados de energia, ou as interações entre spins quantizados, etc.”

“... outra coisa que constataremos é que, se formos longe o bastante, todos os nossos dispositivos poderão ser produzidos em massa, de forma que serão réplicas absolutamente perfeitas uns dos outros. Não podemos fazer duas máquinas grandes de forma a que as dimensões sejam exatamente as mesmas. Mas, se a sua máquina tem apenas 100 átomos de altura, você tem que torná-la precisa em apenas meio por cento para ter certeza que a máquina tenha exatamente o mesmo tamanho – ou seja, 100 átomos de altura!”

“... os princípios da física, tanto quanto podemos perceber, não implicam na impossibilidade de manipular coisas átomo por átomo. Não se trata de uma tentativa de violar quaisquer leis; é algo que, em princípio, pode ser feito, mas na prática, ainda não o foi, porque nós somos grandes demais”.

“... Em última análise, podemos fazer sínteses químicas. Um químico vem e nos diz: “Olhe, eu quero uma molécula que tenha os átomos dispostos assim e assim; faça-me essa molécula.” O químico faz uma coisa misteriosa quando ele quer obter uma molécula. Ele vê que ela tem tal forma; então ele mistura isso e aquilo, chacoalha e brinca um pouco com aquilo. E, no final de um processo difícil, em geral ele obtém sucesso em sintetizar o que quer. Na altura em que eu conseguir meus dispositivos funcionando, de modo a podermos fazer isso com a física, ele terá descoberto como sintetizar absolutamente qualquer coisa, de forma que isso será completamente inútil.”

“... os problemas de química e biologia poderão ser bastante reduzidos se nossa habilidade de ver o que estamos fazendo, e de fazer as coisas em nível atômico, for finalmente desenvolvida – um avanço que, penso, não pode ser evitado.”

Competição escolar

“... Apenas por diversão, e para provocar interesse por esse campo nas crianças, eu proporia que alguém que tenha algum contato com escolas de ensino médio pensasse em fazer algum tipo de competição escolar. Afinal, nós nem ainda começamos nesse campo, e até mesmo as crianças podem escrever menor do que jamais foi escrito antes. Elas poderiam fazer concursos nas escolas. A escola de Los Angeles poderia enviar um alfinete para uma escola de Veneza, onde estaria escrito:

“Como vão as coisas”? Eles recebem de volta o alfinete e, no pingo do “i” está escrito: “não muito quente”.”

“... eu gostaria de fazer uma coisa, mas não posso fazê-la agora, pois ainda não preparei o terreno. Pretendo então oferecer um prêmio¹ de US\$1.000 para a primeira pessoa que possa pegar a informação na página de um livro e coloca-la em uma área 25.000 vezes menor, em escala linear, de tal forma que ela possa ser lida com um microscópio eletrônico.”

“... e eu gostaria de oferecer outro prêmio – se eu puder encontrar um jeito de anunciar isso de forma a não me meter em uma confusão de discussões sobre definições – de outros US\$1.000 para a primeira pessoa que fizer um motor elétrico funcional – um motor elétrico rotativo que possa ser controlado de fora, e sem contar os cabos de entrada, tenha 1/64 de polegada cúbica.

“... eu não acho que esses prêmios tenham que esperar muito para os candidatos aparecerem” (FEYNMAN, 1959).

¹ Nota do editor da Journal of Microelectromechanical Systems: O prêmio acima foi apresentado pelo Dr. Feynman em 28 de novembro de 1960 para William McLellan, que construiu um motor elétrico com o tamanho de um grão de poeira. O outro prêmio ainda está em aberto.

CAPÍTULO 2 – NANOTECNOLOGIA e NANOCIÊNCIAS: CONCEITOS E BREVE HISTÓRICO

O primeiro passo é definir o que significa o prefixo nano. Este é derivado de uma palavra grega que quer dizer anão. Quando colocado na frente de uma unidade de medida, o prefixo nano indica um bilionésimo desta unidade. Desta forma, um nanômetro (nm) vem a ser a bilionésima parte do metro. Um nanômetro é, também, o comprimento de uma fileira de cinco a dez átomos. Para efeito de comparação, a cabeça de um alfinete tem um milhão de nm, enquanto o diâmetro de um fio de cabelo mede 80 mil nm. E os menores objetos que o ser humano consegue ver a olho nu medem cerca de 10 mil nm. Conclusão: um nanômetro é algo muito, muito pequeno. Desafia até nosso poder de imaginação.

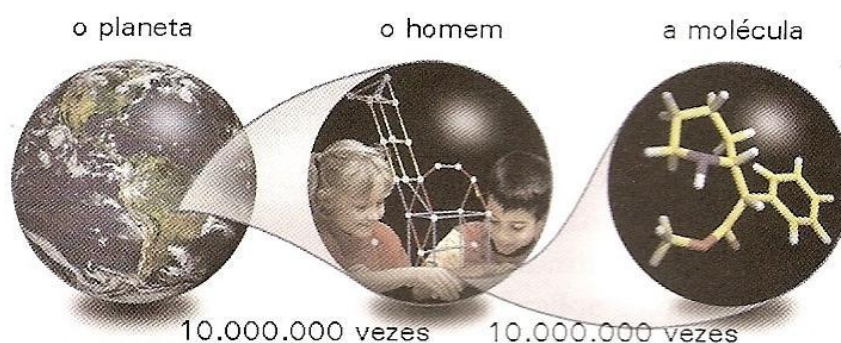


Figura 2.1 Comparação de escala dimensional entre o planeta, o homem e o seu protótipo molecular, montado por manipulação atômica, isto é, átomo a átomo.

A química inorgânica geralmente preocupa-se com entidades de dimensões atômicas e moleculares, que variam de 0,1 a 10 nm, enquanto que a química de estado sólido e a química de materiais tradicionalmente preocupam-se com materiais sólidos com dimensões maiores que 100 nm. Atualmente, existe um grande interesse nos materiais que se situam entre essas duas escalas, uma vez que eles podem apresentar propriedades únicas.

Os nanomateriais, são os materiais que possuem alguma dimensão crítica, entre 1 e 100 nm. Nesta escala intermediária, efeitos das escalas subnanométricas e micrométrica podem ter papel idêntico e os efeitos quânticos podem intervir para produzir propriedades fascinantes, tais como luminescência e outras propriedades especiais que serão vistas adiante.

A nanociência é o estudo das propriedades da matéria que possui uma escala de comprimento entre 1 e 100 nm. A nanotecnologia é um conjunto de procedimentos para a manipulação da matéria nesta escala, para produzir entidades na escala nanométrica para fins práticos. Desta forma, considera-se que um “nanomaterial” é um material sólido que existe numa escala de 1 a 100 nm e apresenta propriedades relacionadas com a sua escala. A “nanociência” é algumas vezes restrita ao estudo dos *novos* efeitos que surgem *apenas* nos materiais que existem em escala nanométrica, e a “nanotecnologia”, restrita aos procedimentos para criar novas funcionalidades que somente são possíveis pela manipulação da matéria em escala nanométrica.

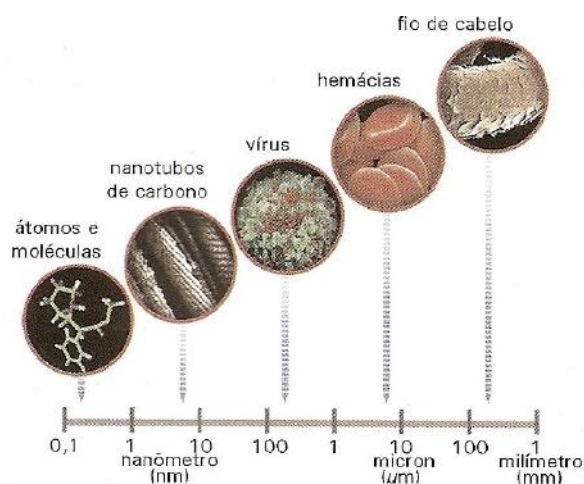


Figura 2.2 Dimensões representativas de algumas espécies típicas, em suas várias escalas. Um nanotubo de carbono é dez mil vezes mais fino que um fio de cabelo, porém pode abrigar várias moléculas em seu interior.

Conhecendo o prefixo nano, é preciso destacar que a estrutura de um material em dimensões nanométricas pode determinar características

observadas no mundo macroscópico. Temos como exemplo o carbonato de cálcio. Esta substância compõe o giz e as conchas. O giz é formado por partículas grandes e desorganizadas, o que o torna frágil e quebradiço. Já as conchas, são bem mais resistentes, pois são formadas de nanopartículas.

Este é um dos exemplos que explica o crescente interesse de indústrias por materiais nanoestruturados, muitas vezes inspirados em mecanismos existentes na natureza. O uso da nanotecnologia pode incrementar características já existentes nos materiais ou introduzir novas propriedades. Assim, vem sendo desenvolvidos plásticos que conduzem eletricidade e revestimentos que resistem à corrosão, entre outras aplicações.

Quando se fala em nanoescala, refere-se a objetos de dimensões inferiores a 100 nm. Nessa escala, um material pode exibir propriedades físicas e químicas que ele não apresenta quando se encontra em dimensões macroscópicas ou mesmo microscópicas.

“É importante destacar que na forma nanométrica os materiais não se comportam exatamente da forma como os conhecemos e utilizamos no dia-a-dia. Aproximando-se da dimensão quase atômica, os metais já começam a expor sua verdadeira química, às vezes camuflada no mundo macroscópico”. (TOMA, 2004).

Tem-se o ferro como exemplo, que é usado como material magnético usado em ímãs permanentes. Entretanto, quando o ferro está sob a forma de partículas de tamanho menor que 10 nm, ele deixa de se comportar como ímã. Outro exemplo é o alumínio. O elemento reage facilmente com o oxigênio, originando o óxido de alumínio. Este processo, por ser muito energético, deveria causar a combustão espontânea do metal. Mas isso não ocorre na escala macroscópica, porque o óxido produzido funciona como uma camada protetora, impedindo a continuidade da reação entre o alumínio e o oxigênio.

Na nanoescala, contudo, não se verifica o efeito protetor do óxido e o alumínio, exposto ao ar, sofre combustão imediata. O alumínio, em nanoescala, tem excelentes características para a confecção de uma bomba ou para ser adicionado ao combustível de foguetes.

Existe uma explicação para que o alumínio e outros materiais tenham comportamentos diferentes na escala macro e nano? Sim, até mais de uma. Na linguagem leiga “é como se encolhêssemos um gato cada vez mais até que, de repente, ele vira um cão”. Em linguagem técnico-científica vem:

“A alteração das propriedades de um material ao atingir a escala nanométrica se deve à combinação de dois fatores: enquanto, por um lado, é em objetos com essas dimensões que os efeitos quânticos se manifestam de maneira mais evidente, por outro, observa-se que quanto menor for o tamanho da amostra, mais importantes se tornam os efeitos de superfície, pelo aumento da proporção entre sua área e seu volume” (MELO; PIMENTA, 2004).

No mundo macroscópico, aplica-se a física clássica, newtoniana, que se aprende no ensino médio. Na nanoescala, entretanto, a física clássica cede lugar à física quântica, que foge da observação convencional. A física quântica mexe com as tradicionais concepções de espaço, tempo, matéria e energia, de modo que parece escapar do bom senso.

(TOMA, 2004). A nanotecnologia é comparada a uma caixa de ferramentas destinada a produzir novos materiais, dispositivos e sistemas. Produzir com precisão atômica em escala industrial ainda deve demorar algumas décadas, mas ele está convencido de que isso acontecerá. Na visão de Eric Drexler, uma espécie de segundo pai da nanotecnologia, as nanomáquinas desenvolvidas pelo homem serão análogas aos ribossomos, organelas celulares onde são montadas as proteínas. No entanto, as

nanomáquinas serão capazes de montar uma variedade maior de estruturas, com capacidades mais amplas.

Na linha de pensamento de Drexler, muitos acreditam na possibilidade de se inventar um construtor molecular universal, ou seja, uma máquina capaz de construir qualquer coisa a partir de átomos e moléculas. Isso pode parecer ficção, principalmente se discutido no contexto da Química. É preciso levar em conta as características dos átomos e moléculas no processo de montagem, não basta colocá-los na posição desejada. Os átomos e moléculas têm reatividade própria e apresentam requisitos espaciais, conhecidos como estereoquímica, que poderão inviabilizar o processo de montagem proposto por Drexler. Essas idéias podem ser usadas em outro contexto, bem mais conveniente, em termos de automontagem (self-assembly). Moléculas, devidamente planejadas com grupos específicos, podem tornar-se aptas a se associar espontaneamente, dispensando o uso de construtores moleculares. Essa abordagem é conhecida como supramolecular e será discutida com detalhes mais adiante.

(TOMA, 2004). Na nanoescala, os limites entre a química, física, engenharia, matemática, biologia e outras disciplinas se dissolvem: a grande promessa da nanotecnologia é reunir esforços com foco na resolução de problemas reais, como o câncer.

Alguns autores fazem questão de frisar que nem tudo que é nanométrico é nanotecnológico. Para ser nanotecnológico, é necessário investigar as propriedades diferenciadas que a matéria apresenta especificadamente na nanoescala, visando a produtos e processos inovadores que aproveitem tais propriedades. Isso caracteriza as nanotecnologias. O termo foi utilizado no plural propositalmente, para evidenciar que o trabalho na nanoescala é, em essência, multidisciplinar. Químicos, físicos, biólogos e engenheiros, entre outros profissionais, estão envolvidos com as nanociências e as nanotecnologias.

“Em muitos casos, quando as pessoas falam de nanotecnologia estão realmente falando sobre a pesquisa científica, ou seja, o termo nanotecnologia geralmente significa nanociência. O termo nanotecnologia é usado porque é uma expressão mais comum, apesar de sabermos que a distinção entre os termos nanociência e nanotecnologia é igualmente comparável à diferenciação entre ciência e tecnologia na acepção moderna de ambas as palavras. A ciência é o conjunto de conhecimentos adquiridos ou produzidos que visam compreender e orientar a natureza e as atividades humanas, enquanto a tecnologia é o conjunto de conhecimentos, especialmente princípios científicos, que se aplicam a um determinado ramo de atividade, geralmente com fins industriais, isto é, a aplicação do conhecimento científico adquirido de forma prática, técnica e economicamente viável.” (DURAN; MATOSO; MORAIS, 2006).

O discurso proferido por Richard Feynman em 1959 tem sido apontado como o marco inicial da nanotecnologia. Quarenta anos mais tarde, o texto desta palestra foi escrito com 400 nm de largura sobre uma placa de ouro. O feito de Chad A. Mirkin, que usou uma técnica chamada nanolitografia, na qual uma caneta microscópica manipula moléculas individuais de organotióis. Embora sem utilidade prática imediata, a impressão nanoscópica do pioneiro discurso de Feynman demonstrava – de modo bastante ilustrativo – que a nanotecnologia já não era apenas uma idéia. Antes de falecer, Richard Smalley teria dito: “a nanotecnologia está deixando de ser um bebê” (KAHN, 2006). Smalley recebeu o Nobel de Química em 1996 por um trabalho que impulsionou a nanotecnologia: a descoberta do fulereno, que será comentada adiante.

“Atualmente, estamos presenciando a transição do universo micrométrico, para o qual o chip nos trouxe, para o nanométrico, mil vezes menor” (TOMA, 2004).

O primeiro computador, de 1946, pesava 30 toneladas, ocupava o andar de um edifício e tinha 18 mil válvulas. Demorou pouco – aproximadamente um ano – para que a válvula ganhasse um substituto: o transistor, componente eletrônico que disciplina o movimento dos elétrons e materiais semicondutores, sobretudo no silício, e que, assim, exerce suas funções de amplificação e chaveamento de sinais elétricos. Em meados da década de 60, Gordon Moore anunciou que um único chip já podia conter 60 componentes eletrônicos integrados e que a capacidade de integração duplicaria a cada 18 meses. Essa previsão entrou para a história como Lei de Moore e vem se confirmando, graças à redução do tamanho dos transistores. Essa diminuição melhora o desempenho dos chips processadores de informação. Em 2004, já estavam sendo comercializados chips com padrões inferiores a 100 nm. Teme-se que a Lei de Moore perca a validade conforme dispositivos semicondutores de silício avançam na nanoescala. Isso porque surgem dificuldades técnicas para esculpir transistores tão diminutos em um bloco de silício. A solução de tais dificuldades, para garantir a produção em escala industrial, teria custo elevado. Como alternativa, já se demonstrou a possibilidade de construir transistores com nanotubos de carbono e moléculas orgânicas, em substituição ao silício.

“A lista das empresas envolvidas em nanotecnologia é imensa, e nela estão incluídas a DuPont, Dow, GE, Honeywell, Motorola, Amgen, Exxon, Rockwell, Texas Instruments, Lockheed Martin, Sun, Intel, Corning, Engelhard, Goodrich, Cabot, Xerox, Applied Materials, Eastman Kodak, 3M, Raytheon, [...], Basf, Siemens, Henkel-Chemie, Hoescht, Degussa, Samsung, Volkswagen, Toyota, Daimler-Chrysler e General Motors” (TOMA, 2004).

Essa lista não incluiu IBM, Hewlett-Packard (HP), Hitachi, Mitsubishi, Roche, GlaxoSmithKline, L'Oréal, Lancôme, Zyvex e muitas outras que também estão investindo em nanotecnologia.

Todas as empresas mencionadas demonstram que a nanotecnologia é real, embora, à primeira vista, pareça algo saído da ficção científica.



Figura 2.3 As nanocápsulas são as atuais “estrelas” da cosmética. A Lancôme já lançou cremes preparados com essa tecnologia.

CAPÍTULO 3 – OS NANOMATERIAIS E SUAS PROPRIEDADES ESPECIAIS

3.1 - Definições

Um nanomaterial é qualquer material que tenha uma dimensão crítica na escala de 1 a 100 nm; é uma substância que apresenta propriedades ausentes tanto em nível molecular quanto na substância em estado sólido, por ter uma dimensão crítica nesta faixa. Conclui-se que um nanomaterial é um material sólido que existe numa escala de 1 a 100 nm e apresenta novas propriedades relacionadas com a sua escala. Já foi visto anteriormente que a nanociência é restrita ao estudo dos materiais que estão na escala nanométrica e a nanotecnologia é restrita aos procedimentos para criar novas funcionalidades, que somente serão possíveis pela manipulação em escala nanométrica.

A Química Inorgânica tradicional foi desenvolvida até meados do século passado, sendo os conhecimentos sobre as ligações, reatividade, estruturas e propriedades dos materiais e compostos simples, de praticamente todos os elementos da tabela periódica, extensamente estudados e sistematizados. Os desafios encontravam-se justamente na preparação de novos materiais que apresentassem propriedades ou funcionalidades diferenciadas.

A Ciência Química evoluiu de forma considerável nas últimas décadas e vem assumindo um papel cada vez mais importante no contexto atual, particularmente no desenvolvimento das nanociências e da nanotecnologia seguindo a estratégia de preparação de nanomateriais e nanossistemas a partir de átomos e moléculas constituintes. Porém, para tal é necessário dominarmos os princípios físico-químicos envolvidos não somente na formação de ligações covalentes ou iônicas fortes. Também é necessário compreender a dinâmica e a energética dos fenômenos regidos por interações fracas e o efeito da organização molecular por elas induzidas sobre as propriedades dos materiais. Por outro lado, pode-se simplesmente focalizar nas propriedades intrínsecas de

um dado material puro, mas reduzido à escala nano, como as propriedades bactericidas da prata na forma de nanopartículas, ou a condutividade elétrica, a resistência mecânica ou as propriedades de incorporação dos nanotubos de carbono, ou as propriedades magnéticas de nanopartículas de Fe_2O_3 , ou as propriedades luminescentes de nanopartículas de CdS. Contudo, propriedades mais interessantes e quimicamente controláveis são obtidas quando ocorre a interação entre diferentes materiais orgânicos e/ou inorgânicos gerando uma ou mais interfaces ou junções, justamente o escopo da Química Supramolecular.

A Química Supramolecular está baseada na organização atômica/molecular e na interação sinérgica entre os constituintes de sistemas multi-componentes estruturalmente mais ou menos bem definidos, visando à obtenção de novas funcionalidades e propriedades.

As supermoléculas podem ser concebidas de modo a serem inteligentes, isto é, com capacidade de compreender e responder a sinais químicos sendo, portanto, capazes de executar certas funções quando combinados com outros sistemas ou materiais de maneira adequada. Ou seja, em função da organização molecular é possível conceber sítios de reconhecimento molecular e possibilitar processos de sinalização, comunicação e transformação molecular, além dos fenômenos de auto-montagem, auto-replicação e auto-reparação.

A “estratégia supramolecular” pode ser utilizada em quaisquer situações em que se queira modificar a funcionalidade de compostos e de materiais por combinação com outros materiais ou modificação química de sua superfície e interfaces. Além disso, apresenta a vantagem de poder utilizar os conhecimentos químicos sistematizados já existentes para a montagem dos nanomateriais supramoleculares. Ou seja, há a possibilidade de se tentar montar sistemas mais complexos com as propriedades desejadas selecionando adequadamente os componentes individuais.

A natureza nos mostra a versão original da nanotecnologia. O DNA é um nanomaterial por excelência, pois armazena informação como uma seqüência de pares de bases espaçadas de aproximadamente 0,3 nm. Suas moléculas enoveladas possuem densidade de informação de mais de 1 Tb (1 Tb cm⁻²) (1 Tb = 10¹² bits), que é muito maior do que a alcançada pela maioria dos sistemas de armazenamento de dados. A fotossíntese é outro exemplo de nanotecnologia biológica, onde são empregadas nanoestruturas para absorver luz, separar carga elétrica, enviar prótons para outros lugares e, finalmente, converter energia solar em energia química biologicamente importante.

Os seres humanos praticam nanotecnologia há séculos: o ouro e a prata têm sido usados para produzir vidro colorido de vermelho e de amarelo, respectivamente. No vidro colorido, os átomos metálicos formam nanopartículas (que eram chamadas de partículas coloidais), e suas propriedades ópticas dependem fortemente de seu tamanho. Os nanopigmentos metálicos estão se tornando cada vez mais o centro das atenções em estudos de nanotecnologia biomédica, pelo fato de serem usados para marcar DNA e outras nanopartículas. Outros exemplos serão comentados mais adiante. Trataremos agora, das propriedades especiais dos nanomateriais.



Figura 3.1 Idade Média: nanopartículas de ouro para coloração vermelho-rubi em vitrais.

3.2 – Algumas propriedades especiais

O trabalho nas áreas de nanociência e nanotecnologia tem sido multidisciplinar e também com diferentes abordagens. Primeiramente, será feita uma pequena abordagem orientada à química inorgânica, com o objetivo de compreender os nanomateriais e algumas de suas propriedades especiais.

Os efeitos de confinamento levam a algumas das mais fundamentais manifestações dos fenômenos produzidos pela escala nanométrica dos materiais e são frequentemente usados como ponto de partida para o estudo da nanociência. Novas propriedades ópticas aparecem nas nanopartículas como resultado desses efeitos de confinamento e estão sendo exploradas para as tecnologias de informação, biológica, sensoriamento e energia.

Temos como exemplo as nanopartículas semicondutoras. As nanopartículas semicondutoras vêm sendo investigadas intensivamente devido às suas propriedades ópticas. Essas partículas são chamadas frequentemente de pontos quânticos (*quantum dots*), porque os efeitos quânticos tornam-se importantes nestas partículas confinadas tridimensionalmente (pontos). Dois efeitos importantes ocorrem nos semicondutores quando os elétrons estão confinados em pequenas regiões. Primeiro, a separação energética HOMO-LUMO torna-se maior do que o valor observado nos cristais usuais. Segundo, os níveis de energia dos elétrons nos LUMOs (e os buracos, a ausência de elétrons, nos HOMOs), são quantizados como os de uma partícula numa caixa. Ambos os efeitos têm um papel importante na definição das propriedades dos pontos quânticos.

Temos então que, o confinamento quântico, ou seja, o aprisionamento de elétrons e buracos em pequenas regiões fornece um método para ajustar a separação energética entre as bandas dos materiais. As transições dos elétrons entre os estados de banda de valência (estados HOMO) e os da banda de condução (estados LUMO) são chamados de transições interbanda,

e a menor energia para essas transições aumenta para os pontos quânticos em relação aos semicondutores em quantidades macroscópicas. Visto que a separação entre as bandas é função do tamanho dos pontos quânticos, é possível ajustar as suas luminescências simplesmente modificando os seus tamanhos. A separação entre as bandas pode ser ajustada ao longo de todo o espectro visível.

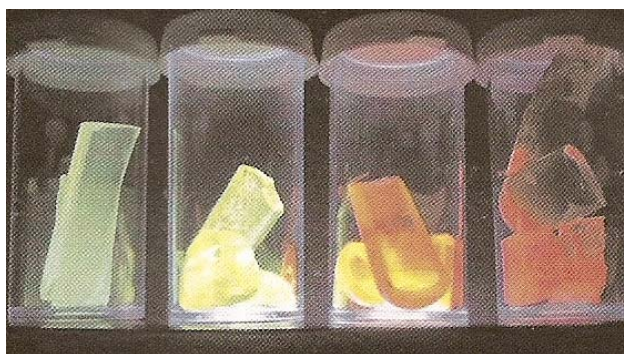


Figura 3.2 Sólidos de *quantum dot*, contendo nanocristais de CdSe dispersos em uma matriz polimérica, atravessam o espectro visível quando excitados com luz ultravioleta.

Uma outra manifestação referente ao confinamento quântico é que os níveis de energia quantizados disponíveis dentro de um ponto quântico não possuem um momento linear global (são ondas estacionárias), e de acordo com a mecânica quântica, se não tivermos momento linear global, a posição da partícula pode ser determinada. Como consequência, a probabilidade de transição entre dois estados é alta, pois não necessita de transferência de momento. A falta da dependência do momento também explica a natureza da absorção pelos pontos quânticos como uma banda larga, pois as probabilidades são altas para a maioria das transições a partir dos estados ocupados da banda de valência (HOMO) para os desocupados da banda de transição (LUMO).

As probabilidades também são altas para as transições intrabandas, que são transições de elétrons entre os estados da banda de transição (LUMO) ou de buracos na banda de valência (HOMO). As transições intrabanda relativamente intensas são geralmente na região infravermelha do espectro, exploradas atualmente para produção de fotodetectores, sensores e *lasers*, todos no infravermelho.

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO E FABRICAÇÃO DE NANOMATERIAIS

O rápido crescimento das atividades nas áreas de nanomateriais, nanociência e nanotecnologia no final do século XX e início do século XXI, estão intimamente ligados aos avanços de fabricação e caracterização. Será feita uma abordagem geral acerca dos métodos de caracterização e síntese, suas características básicas, com destaque para a síntese de nanopartículas em solução e em fase vapor, que são as mais utilizadas.

4.1) Microscopia de Varredura: a pioneira na caracterização

A microscopia de tunelamento por varredura (MTV) foi a primeira de uma série de microscopias de varredura, que é uma técnica que permite a formação de uma imagem tridimensional da superfície dos materiais pelo uso de uma sonda física afiada e sensível. Todas essas técnicas usam uma sonda afiada que é levada a uma grande proximidade (ou contato) da amostra, construindo-se uma imagem varrendo-se a ponta de prova sobre a superfície da amostra e acompanhando-se a variação espacial do valor de um parâmetro físico, como diferença de potencial, corrente elétrica, campo magnético ou força mecânica.

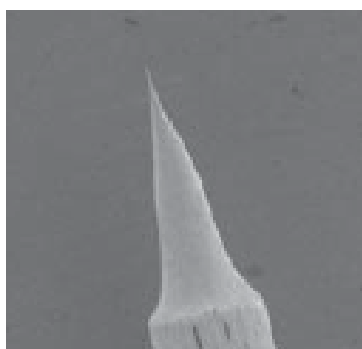


Figura 4.1 Ponta de um microscópio de tunelamento. Os microscópios de tunelamento apresentam uma ponta de metal e uma agulha muito fina e medem a corrente elétrica que passa entre a agulha e a superfície. A corrente é utilizada na manipulação de átomos na superfície de materiais.

4.2) Fabricação de cima para baixo

Há duas técnicas básicas para a fabricação de entidades nanométricas. A primeira é tomar um objeto em escala macroscópica (ou microscópica) e esculpir nele padrões nanométricos, e é chamada de *fabricação de cima para baixo*. É importante frisar que, com essa técnica não há a transformação de um composto macroscópico em um composto nanométrico e sim ocorre a criação de padrões nanométricos em um objeto macroscópico. Isso é feito da seguinte forma: os padrões são primeiramente planejados numa escala grande, em seguida as suas dimensões laterais são reduzidas e então, os padrões são usados para transferir padrões nanométricos para os materiais macroscópicos. Temos como exemplo técnicas como a litografia, estampagem mecânica ou impressão em escala nanométrica.

4.3) Fabricação de baixo para cima

A segunda técnica, chamada de fabricação de baixo para cima, consiste em construir objetos controlando o arranjo das suas partes componentes em menor escala. A fabricação de baixo para cima controla o arranjo de átomos e moléculas. É importante frisar que, para o controle de átomos e moléculas é imprescindível conhecer suas estruturas e propriedades, a fim de que a fabricação seja feita de forma satisfatória.

As duas abordagens mais empregadas para preparar os nanomateriais pelo método de baixo para cima são os métodos em solução e em fase vapor, que serão vistos a seguir:

4.3.1) Síntese de nanopartículas em solução

Os métodos sintéticos em solução são as principais técnicas para a síntese de nanopartículas, porque eles usam reagentes muito móveis

misturados atômicamente, permitindo a incorporação de moléculas estabilizantes, sendo muito empregados com sucesso na prática; os dois estágios de cristalização a partir das soluções são a nucleação e o crescimento.

As duas técnicas básicas para gerar sólidos inorgânicos são os métodos de combinação direta e os métodos baseados em soluções. O primeiro não leva exatamente à síntese de nanopartículas porque os reagentes tendem a ser maiores do que as nanopartículas, exigindo um tempo grande para se atingir o equilíbrio.

Os métodos em solução permitem um excelente controle sobre a cristalização dos materiais inorgânicos e são muito usados. Deve-se tomar cuidado especial para controlar o tamanho e a forma das partículas durante a síntese de nanopartículas, assim como sua uniformidade de tamanho e forma. Através de um ajuste fino do processo de cristalização, pode-se preparar nanopartículas altamente monodispersas e com formato uniforme para uma grande variedade de composições, a partir de soluções contendo combinações de elementos de praticamente toda a tabela periódica.

Uma vez que os reagentes nos métodos em solução estão misturados em escala atômica e solvatados no meio líquido, a difusão é rápida e as distâncias de difusão são geralmente pequenas. Portanto, as reações podem ser feitas em baixa temperatura, o que minimiza o crescimento de partícula promovido termicamente, o qual é problemático nos métodos de combinação direta. As etapas básicas desta química em solução são:

- a) Solvatação dos reagentes e aditivos.
- b) Formação de um núcleo sólido e estável a partir da solução.
- c) Crescimento das partículas sólidas pela incorporação de material até que os reagentes tenham sido consumidos.

O objetivo básico de uma síntese em solução é gerar de uma maneira controlada a formação simultânea de um grande número de núcleos estáveis que sofrem pouquíssimo crescimento adicional.

O problema do método em solução é que as partículas podem sofrer o amadurecimento de Ostwald, no qual as partículas menores da distribuição se redissolvem e as suas espécies solvatadas reprecipitam sobre as partículas maiores, aumentando assim a distribuição de tamanhos e diminuindo a contagem total de partículas. Para prevenir este amadurecimento indesejável, adicionam-se estabilizantes, que são moléculas com propriedades tensoativas que ajudam a estabilizar as partículas contra o crescimento e a dissolução.

4.3.2) Síntese de nanopartículas em fase vapor

Os métodos sintéticos em fase vapor são técnicas alternativas para a síntese de nanopartículas que têm tido grande sucesso na prática. Eles empregam reagentes misturados em nível atômico e muito móveis, que podem ser controlados variando-se as condições. Os mesmos fundamentos relativos à nucleação e crescimento que são importantes para a síntese em solução, aplicam-se às sínteses em fase vapor. O vapor necessita estar supersaturado ao ponto em que uma alta densidade de eventos de nucleação homogênea produz partículas sólidas numa única e curta explosão, e o crescimento precisa ser limitado e controlado numa etapa subsequente, se for para ocorrer de fato. Comercialmente, utiliza-se a síntese em fase vapor para produzir negro de fumo e sílica em pó nanométricos em grandes quantidades.

4.3.3) Diferenças entre as técnicas em solução e em fase vapor

Há muitas diferenças entre as técnicas em fase vapor e em solução. Na técnica em solução, podem-se adicionar estabilizantes de uma maneira direta e controlada, e as partículas permanecem dispersas e independentes

umas das outras. Em 1857, Faraday observou que a redução de uma solução aquosa de $[\text{AuCl}_4]^-$ com fósforo em CS_2 produzia uma suspensão vermelho intenso que continha nanopartículas de ouro. Uma vez que o enxofre forma ligações com o ouro, espécies contendo enxofre são bons agentes estabilizantes, e as moléculas estabilizantes mais usadas para estabilizar nanopartículas de ouro são as que contêm o grupo tiol (-SH). Dentro desta linha de pesquisa de Faraday, foi desenvolvida uma abordagem para o controle do tamanho e da dispersão de nanopartículas de ouro usando $[\text{AuCl}_4]^-$ e estabilizantes tióis. Nanopartículas de óxidos também podem ser crescidas por métodos em solução. Muitas aplicações utilizam partículas coloidais de óxidos como SiO_2 e TiO_2 para alimentos, tintas de impressão, tintas de parede, revestimentos, etc.

Por outro lado, nas técnicas em fase vapor, tensoativos e estabilizantes não podem ser adicionados com facilidade (embora existam estabilizantes de fase sólida). Sem estabilizantes nas suas superfícies, as nanopartículas tendem a se aglomerar em partículas maiores. Se as temperaturas durante o processo forem altas o bastante, as partículas sinterizam e coalescem em partículas maiores. Embora os “aglomerados macios” formados sob a influência de forças intermoleculares fracas possam ser redispersos, isto já não é possível com os “aglomerados duros” (parcialmente sinterizados, formados em uma temperatura intermediária) e com as partículas que coalesceram (formadas em alta temperatura). Assim, as técnicas que levam aos aglomerados macios são geralmente mais apropriadas para a produção de nanopartículas. Por causa destas diferenças, a dispersão de tamanho das nanopartículas tende a ser melhor com as técnicas em solução do que com as técnicas em fase vapor.

CAPÍTULO 5: O MODELO MAIS PERFEITO DE NANOTECNOLOGIA: AS NANOMÁQUINAS BIOLÓGICAS

Um filme de ficção científica lançado no ano de 1987, *Viagem Insólita*, onde um homem miniaturizado é injetado na corrente sanguínea de um hipocondríaco, criando diversas situações engraçadas, certamente foi considerado como algo surpreendente. Mas imagine que, em vez de injetar um ser humano na corrente sanguínea, fosse possível enviar um robô para dentro do corpo humano, construído molécula por molécula, e que esse robô fosse orientado a atingir diretamente um alvo inimigo, como uma célula de câncer, por exemplo. Esse filme, certamente ninguém ainda o viu. Mas talvez não seja preciso esperar tanto tempo para que isso aconteça, pois na realidade, existem células em nosso corpo que atuam como verdadeiras “máquinas de defesa” na luta contra invasores, e essas máquinas sabem exatamente onde, quando e como agir. Outras “máquinas” produzem movimentos ou aceleram reações químicas, dependendo das necessidades do organismo. A nanotecnologia, considerada a ciência do novo século, está aprendendo os segredos desses sistemas biológicos para reproduzi-los em laboratório. É tudo uma questão de tempo.

Um dos aspectos dos sistemas biológicos é a presença de estruturas organizadas nos mais variados níveis. Na ausência de organização, as biomoléculas dissolvidas ou dispersas em meio aquoso atuariam de forma desordenada, através de colisões promovidas pela energia térmica, comprometendo sua eficiência e gerando interferências mútuas de todos os tipos. Fazendo uma analogia, é exatamente isso que ocorre nos sistemas químicos em solução ou em fase gasosa.

Diante desses fatos, a química começa, então, a explorar as vantagens de se ter uma organização molecular, e com isso será possível utilizar os efeitos cooperativos entre as moléculas, atingir o reconhecimento

molecular e evitar reações paralelas que possam comprometer o perfeito funcionamento de um sistema organizado. Essa diferente abordagem é chamada de Química Supramolecular, que será discutida no capítulo seguinte.

Ter uma compreensão de como funcionam os sistemas biológicos é fundamental para seguir no campo das nanociências, pois são eles que fornecem os paradigmas para a criação de nanomáquinas e dispositivos moleculares. Um dispositivo consiste em uma unidade construída com uma dada finalidade. As máquinas podem ser entendidas como um conjunto complexo e integrado, capaz de executar alguma tarefa, e que utiliza alguma forma de energia. Esses conceitos podem ser estendidos para os sistemas biológicos.

5.1) Biomoléculas que atuam de forma inteligente

A classe mais importante de substâncias que compõem os sistemas biológicos é a das proteínas. Elas são formadas por aminoácidos, de fórmula geral $R-CH(NH_2)-COOH$. O grupo R é variável, podendo gerar vários aminoácidos. Cada grupo R, além de ter uma função química que lhe é própria, proporcionam sítios hidrofílicos (que possuem afinidade por água) e hidrofóbicos (repelem a água), que influenciam na conformação e propriedades das proteínas.

Na hemoglobina, biomolécula que realiza o transporte de oxigênio no organismo, existem quatro unidades protéicas associadas. Nesta biomolécula, existe um grupo não protéico conhecido como porfirina, onde se aloja um íon de ferro (Fe^{+2}) no centro. Esse grupo é o responsável pela armazenagem e suprimento de O_2 no organismo, através da ligação dessa molécula com os íons de ferro. Sua presença é reconhecida pela cor vermelha.

A hemoglobina é considerada por muitos pesquisadores como uma biomolécula inteligente, que tem um funcionamento intrigante: propagam-se

efeitos de perturbação ao longo de sua estrutura associada, como se fossem troca de informações entre as quatro unidades protéicas. A hemoglobina possui um comportamento cooperativo, que acelera a captura de oxigênio pela biomolécula, sendo, portanto, uma máquina captadora e transportadora de oxigênio extremamente eficiente. Ela retira oxigênio de onde “há muito” e libera onde “há pouco”.

Além do efeito cooperativo, a hemoglobina responde a uma variação de acidez no sangue, controlando a liberação do oxigênio de forma a suprir a demanda local de forma satisfatória, como por exemplo, durante esforço físico. A hemoglobina é considerada como uma máquina molecular que é capaz de otimizar seu próprio desempenho.

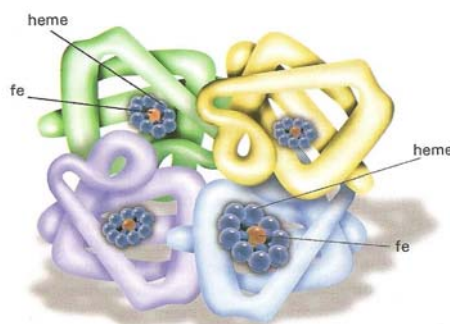


Figura 5.1 Estrutura da hemoglobina, com as quatro unidades protéicas associadas e os núcleos porfirínicos responsáveis pela captação e transporte de oxigênio molecular. Na hemoglobina, as unidades se comunicam, atuando de forma cooperativa na captura de oxigênio. É uma máquina molecular inteligente.

Um outro grupo de estruturas protéicas bastante estudadas pelos pesquisadores são as enzimas, também conhecidas como catalisadores biológicos. As enzimas são substâncias que aceleram a velocidade de uma reação química, diminuindo a energia para que isso ocorra. A ação do catalisador se dá por meio da interação com a espécie química a ser transformada, ou substrato, facilitando sua conversão no produto desejado, após o qual é liberado.

Apesar da aparente atuação simples, as enzimas são extraordinariamente complexas, se enfocadas como máquinas moleculares.

Todas as enzimas apresentam um ou mais sítios ativos, nos quais a ação catalítica se processa. Os sítios são geralmente ocupados por elementos metálicos, como manganês, ferro, cobalto, cobre, zinco. Esses elementos foram selecionados pela natureza ao longo de um processo de evolução, em termos de eficiência e funcionalidade para realizar transformações químicas. Essas transformações podem envolver a ligação dos substratos com os sítios catalíticos ou a passagem de elétrons, conduzindo a processos conhecidos como oxirredução. A existência de sítios ativos é comum a todos os catalisadores, mas a presença de um envoltório protéico é um aspecto diferencial nas enzimas. Os substratos acabam sendo selecionados em função da capacidade de passar pelas aberturas e canais existentes na camada protéica, até chegar ao sítio ativo, sofrendo ação dos grupos hidrofóbicos ou hidrofílicos (anteriormente comentados) presentes nos aminoácidos.

Dessa forma, a ação enzimática poderá ser inibida se os sítios ativos da enzima forem inativados, ou se forem utilizadas espécies químicas semelhantes ao substrato, que acabam competindo com ele mesmo, bloqueando sua chegada até o centro catalítico. A ação inteligente das enzimas também se manifesta através do chamado efeito alostérico, em que uma biomolécula se adapta às condições do meio, modificando sua estrutura para interromper um processo ou torná-lo mais efetivo. Isso ocorre pelo simples fato de que se todas as enzimas fossem ativas ao mesmo tempo, uma acabaria interferindo na atividade da outra, e as transformações se tornariam caóticas. Através das mudanças de conformação obtidas com o efeito alostérico, as enzimas conseguem abrir ou fechar o acesso aos substratos, e isso é feito por algum mecanismo de reconhecimento dos produtos. Quando há falta dele, as enzimas começam a agir e, quando a concentração do produto é alta, a enzima se fecha, impedindo a entrada dos substratos, cessando a atividade de síntese. As enzimas são, portanto, também consideradas biomoléculas inteligentes, pois sabem exatamente a hora de trabalhar e descansar. Que máquina conhecida é capaz de tomar essas decisões?

CAPÍTULO 6 – QUÍMICA SUPRAMOLECULAR E OS ARQUITETOS DE MOLÉCULAS: BRINCANDO DE “LEGO”

6.1) A automontagem – moléculas sob controle

Reações químicas em geral ocorrem de forma caótica, através de colisões moleculares em todas as direções. Por isso, apenas algumas acabam sendo produtivas e levando aos produtos desejados. A nanotecnologia molecular é capaz de domar esse caos. Ela segue um planejamento estratégico, partindo de espécies químicas adequadas para funcionar como blocos de montagem. É a ciência que brinca de “LEGO” com moléculas e constrói um novo futuro. Dessa forma, obtêm-se estruturas organizadas em escala nanométrica.

No contexto da química supramolecular, é muito mais conveniente trabalhar na montagem das nanoestruturas a partir de moléculas do que de átomos. A natureza faz exatamente isso. A abordagem construtivista, baseada no acoplamento de moléculas para formar unidades funcionais, lembra a própria montagem do DNA a partir dos nucleosídeos-trifosfato, ou o encadeamento das moléculas de clorofila, carotenos e quinonas para direcionar o transporte de elétrons no sistema fotossintético. Essa freqüente comparação com os sistemas biológicos levanta outro ponto relevante na abordagem supramolecular, que é a possibilidade de se ter uma melhor compreensão do funcionamento das biomáquinas.

(TOMA, 2004). *A química supramolecular transcende a química das moléculas!* De fato, essa é a melhor concepção da química supramolecular. Enquanto a identidade dos componentes é preservada, o arranjo supramolecular permite que eles se comuniquem de forma simbiótica, dando origem a novas propriedades. Assim, a química supramolecular também é considerada a química de sistemas multicomponentes, que podem atuar de forma cooperativa, porém sempre mantendo as suas identidades.

Atualmente, a forma como esses componentes se interligam já não é considerada relevante. Pode ser eletrostática, covalente, pontes de hidrogênio ou forças de Van der Waals, desde que as características dos componentes sejam preservadas na entidade associada. Isso é diferente nos casos dos sistemas poliméricos convencionais, nos quais as unidades originais (monômeros) perdem sua identidade ao se fundir em um esquema repetitivo através de ligações covalentes, como por exemplo, o polietileno, que é obtido pela polimerização do etileno ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$), não tem qualquer semelhança com essa espécie química apesar do nome, pois é formado por cadeias tipicamente saturadas (sem duplas ligações). Entretanto, no DNA, que também é um polímero, a identidade das bases nucleicas é mantida, e a seqüência de três bases revela uma característica supramolecular importante, pois permite a expressão do código genético. Assim, num sentido mais amplo, a abordagem supramolecular visa à associação programada de várias espécies químicas, gerando uma nova entidade, planejada com um determinado propósito.

A montagem dos sistemas por meio da química supramolecular é um processo que ocorre de forma espontânea, sem a necessidade de um montador universal, como se baseava a teoria já comentada proposta por Drexler, ou de máquinas enzimáticas construtoras. Ela envolve a organização espontânea dos componentes em novos padrões ou estruturas, bastando apenas misturá-los, sem intervenção humana. Sem a automontagem, a biologia seria impraticável.

(TOMA, 2004). A automontagem é, na realidade, um fenômeno universal, estático ou dinâmico, observado tanto em macro como em nanoambientes, pois é dirigida por forças.

No caso de moléculas, quando as forças são mais fracas que as das ligações covalentes convencionais (por exemplo, forças de Van der Waals, ligações coordenativas e pontes de hidrogênio), a dinâmica é facilitada, permitindo a formação e quebra de ligações o tempo todo. Imagine a

automontagem de um quebra-cabeça, filmada em câmera rápida, até chegar à organização final. Na automontagem, os componentes devem ser capazes de se deslocar sucessivamente, de forma que as afinidades (forças atrativas) acabem predominando sobre os efeitos repulsivos e caóticos. Portanto, requer que os componentes sejam móveis e, por isso, o processo geralmente é conduzido em meio líquido ou em interfases, como já foi descrito anteriormente (fabricação em solução ou em fase vapor).

6.2) As várias formas do carbono: um show de nanoestruturas

Estruturas em forma de cubos, tubos e até bolas de futebol: elas estão presentes em elementos químicos no estado sólido, principalmente no grupo formado pelo boro, carbono, silício, fósforo, enxofre, germânio, arsênio, antimônio e telúrio. Esses elementos apresentam propriedades semicondutoras, e tem tido muito destaque nas aplicações nanotecnológicas, principalmente no campo da eletrônica.

Assim como o boro, o carbono é o elemento que apresenta as mais belas estruturas conhecidas, como o grafite, o diamante, os fullerenos e os nanotubos.

O diamante é uma forma bastante densa de carbono e é um dos sólidos mais duros que se conhece. Sua estrutura consiste de carbonos ligados entre si em um arranjo tetraédrico.



Figura 6.1 Imagem artística da estrutura do diamante.

A grafite tem uma estrutura peculiar, formada por ligações σ (ligações que promovem a união entre dois átomos através dos elétrons localizados no eixo que interliga os núcleos atômicos) em planos de anéis hexagonais, e por ligações π deslocalizadas (ligações π deslocalizadas complementam as ligações σ através da união dos átomos por meio de elétrons localizados acima e abaixo do eixo internuclear), como uma nuvem, sobre todos os átomos.

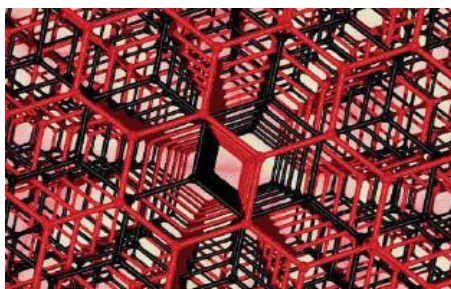


Figura 6.2 Imagem artística da estrutura do grafite.

Os fullerenos foram descobertos no final dos anos 80 e formam uma família de estruturas esféricas de carbono. Seu nome foi inspirado pela cúpula arquitetônica projetada por Buckminster Fuller. A espécie mais conhecida apresenta 60 átomos de carbono e é parecida com uma bola de futebol em escala nanométrica, com faces pentagonais e hexagonais interligadas. Essa estrutura corresponderia a mais estável e menor arrumação de átomos de carbono puro. Os fullerenos apresentam estruturas cíclicas com alta deslocalização eletrônica e admitem várias formas cristalinas. Apresentam baixa dureza em condições normais e as inúmeras descobertas sobre os fullerenos têm ampliado de forma significativa o campo de estudo na área de nanotecnologia molecular.

Os nanotubos de carbono foram descobertos por Sumio Iijima em 1991, no Japão, e têm sido atualmente uma das espécies mais pesquisadas na área de nanotecnologia molecular. Os nanotubos estão dispostos como se envolvessem uma ou várias folhas enroladas de lamelas de grafite. Suas dimensões variam de 1 a 10 nm em diâmetro e dezenas de microns em comprimento. Os nanotubos podem proporcionar fios nanométricos como

também ser modificados, gerando materiais com as mais variadas aplicações nanotecnológicas. Uma delas é que os nanotubos poderão ser utilizados em chips de memória de computador, podendo armazenar 10 mil vezes mais dados que os atuais chips de silício.

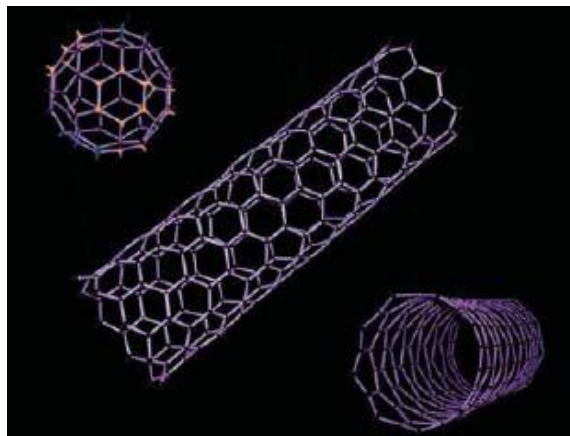


Figura 6.3 Modelo da estrutura de um nanotubo de carbono e de uma “Buckybola” (Fullereno).

6.3) As inúmeras utilidades dos complexos metálicos

A formação de nanoestruturas com unidades moleculares não é tarefa das mais fáceis, e pode envolver um número muito grande de etapas de síntese, e os rendimentos nem sempre podem ser satisfatórios. Entretanto, esta tarefa pode ser facilitada utilizando complexos metálicos como conectores, baseando-se nos modelos de “LEGO”, como já foi dito anteriormente. O uso de conectores metálicos ocorre com grande frequência em sistemas biológicos: os elementos metálicos apresentam maior seletividade em relação aos grupos ligantes e a automontagem fica facilitada, quando associada aos processos de coordenação.

Porém, a função dos complexos metálicos na nanotecnologia não se restringe apenas à função estrutural: os metais, além de abranger a maior parte da tabela periódica, apresentam estados de oxidação múltiplos, positivos ou

negativos. Sem contar que, os complexos metálicos conferem geometrias moleculares bem diversificadas e os ligantes, por sua vez, ampliam ainda mais o campo de utilização dos complexos, pelo fato de abrangerem todos os compostos.

Os compostos organometálicos, como o ferroceno, são particularmente interessantes: possui grande estabilidade em processos de transferência de elétrons e um número crescente de estruturas moleculares incorpora o ferroceno, gerando várias aplicações em nanotecnologia molecular.

Contudo, o aspecto mais importante dos complexos metálicos está relacionado com sua química extremamente rica, que por sua vez depende de um conjunto de fatores que regulam sua estrutura, estabilidade e reatividade, que fazem com que surjam alternativas bem interessantes na montagem e em aplicações das nanoestruturas.

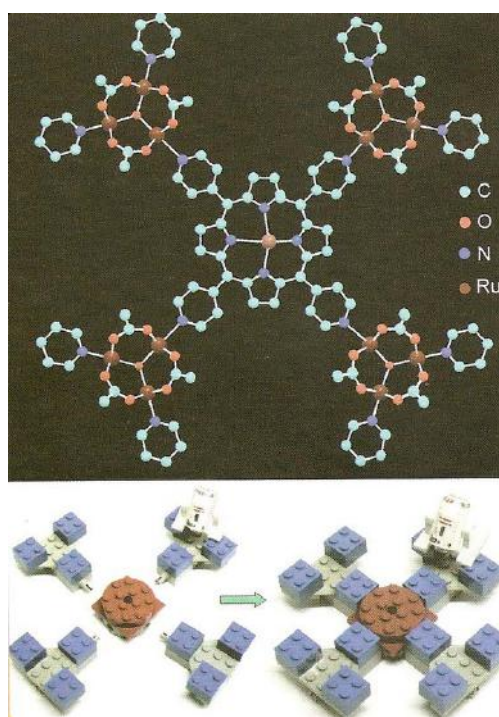


Figura 6.4 A automontagem de uma porfirina com quatro unidades de clusters de rutênio periféricos está sendo representada pela simples associação de peças de LEGO. Esse quadro ilustra como os complexos metálicos podem ser usados para construir estruturas supramoleculares dotadas de funcionalidade. A associação entre os componentes é dirigida pela afinidade química.

6.4) Nanopartículas magnéticas

Uma tecnologia para minimizar os estragos produzidos por derramamentos de petróleo em alto mar foi desenvolvida por pesquisadores do Núcleo de Física Aplicada da Universidade de Brasília. O projeto, batizado de “compósitos magnéticos”, foi desenvolvido agregando-se nanopartículas magnéticas a polímeros tratados quimicamente para se comportar de forma hidrofóbica. Desta forma, quando o material é jogado na água, ele foge da fase aquosa e se une ao óleo. E por ser magnético, pode ser retirado da água por meio de ímas, carregando também, a poluição.



Figura 6.5 Compostos magnéticos podem ser utilizados para limpar o óleo derramado na água. Essa tecnologia já existe e foi desenvolvida por pesquisadores brasileiros.

De forma geral, as nanopartículas magnéticas são constituídas por magnetita (Fe_2O_4) e têm a superfície recoberta por algum estabilizante, que evita a coagulação espontânea induzida pela interação dos dipolos magnéticos.

Outro campo importante de aplicação das nanopartículas magnéticas é sua utilização como agente transportador de drogas, direcionado pela aplicação de ímas. As nanopartículas magnéticas são obtidas pelas reações de sais de ferro com bases, em condições controladas, em presença de um agente químico que recubra a superfície, interrompendo os processos de

agregação. Ao modificar essas nanopartículas com camadas de polímeros capazes de ancorar a espécie sensibilizadora, será possível direcionar a terapia, levando à destruição do tumor sem afetar outras regiões.

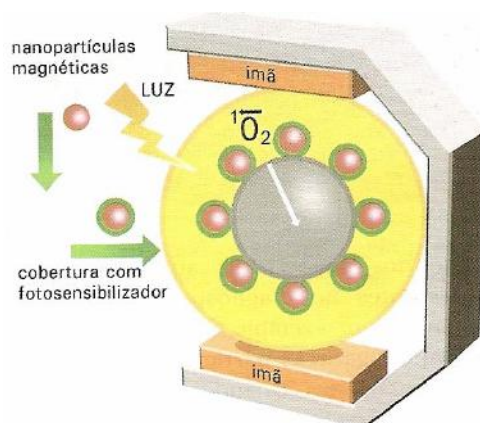


Figura 6.6 Tratamento de tumores com sensibilizadores fotoquímicos imobilizados em nanopartículas magnéticas. O ímã concentra as nanopartículas na região terapêutica. O sensibilizador, sob ação da luz, produz espécies ativas de oxigênio, que levam à destruição do tumor.

6.5) Quantum Dots (pontos quânticos)

A medicina também está incluída nos avanços nanotecnológicos. Nanocristais semicondutores, como CdS e ZnS, atuam como sinalizadores de regiões específicas do organismo. Os nanocristais funcionam como quantum dots (pontos quânticos), emitindo luzes com cores diferentes, em função do tamanho das partículas. Ao contrário dos corantes utilizados atualmente que têm um tempo de atividade de alguns minutos, os nanocristais persistem por mais tempo no organismo e possibilitam monitorar as transformações que ocorrem na região afetada.

Essa técnica pode ser utilizada de forma interessante no diagnóstico da metástase do câncer, visto que as células tendem a ingerir as partículas luminescentes nas proximidades. Quando há o deslocamento dessas células, as mesmas deixam um rastro escuro, indicando a ausência das partículas

ingeridas, o que comprova a mobilidade a consequência atividade da metástase. As nanopartículas também podem ser modificadas com anticorpos que reconhecem uma célula específica de câncer no organismo, sendo possível fazer um mapeamento da doença.



Figura 6.7 *Quantum dots* vermelhos injetados em um rato vivo permitem fazer a marcação do tumor.

CAPÍTULO 7: A INTERDISCIPLINARIDADE E AS MUDANÇAS NO ENSINO MÉDIO

As mudanças que vêm ocorrendo no Ensino Médio, geradas pela da Lei das Diretrizes e Bases (LDB) e as DCNEM (Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio), sobretudo a questão da interdisciplinaridade e mudanças curriculares, serão tomadas como base para a inserção do assunto Nanotecnologia e Nanociências no curriculum do Ensino Médio.

7.1) A LDB E AS DCNEM

O Ministério da Educação, por intermédio da Secretaria de Educação Média e Tecnológica, organizou o projeto de reforma do Ensino Médio como parte de uma política mais geral de desenvolvimento social, que prioriza as ações na área da educação. Abaixo, segue a Legislação que deu origem e que contém a base para as mudanças propostas para o Ensino Médio:

- Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB.

- Parecer nº 15/98 da Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação – CNE.

- Resolução nº 03/98 da Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação – Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM).

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional foi a principal referência legal para a formulação das mudanças propostas, na medida em que estabelece os princípios e finalidades da Educação Nacional.

As mudanças partiram de princípios definidos na LDB, e, num trabalho conjunto com educadores de todo o País, chegou-se a um novo perfil para o currículo, apoiado em competências básicas para a inserção dos jovens na vida adulta. O ensino era descontextualizado e baseado no acúmulo de informações. Ao contrário disso, buscou-se dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização; evitar a compartimentalização, mediante a interdisciplinaridade; e incentivar o raciocínio e a capacidade de aprender.

As propostas de reforma curricular para o Ensino Médio se pautam nas constatações sobre as mudanças no conhecimento e seus desdobramentos, no que se refere à produção e às relações sociais de modo geral.

Nas décadas de 60 e 70, considerando o nível de desenvolvimento da industrialização na América Latina, a política educacional vigente priorizou, como finalidade para o Ensino Médio, a formação de especialistas capazes de dominar a utilização de maquinarias ou de dirigir processos de produção. Esta tendência levou o Brasil, na década de 70, a propor a profissionalização compulsória, estratégia que também visava a diminuir a pressão da demanda sobre o Ensino Superior.

Na década de 90, enfrentou-se um desafio de outra ordem. O volume de informações, produzido em decorrência das novas tecnologias, era constantemente superado, colocando novos parâmetros para a formação dos cidadãos. Não se tratava de acumular conhecimentos.

A formação do aluno deve ter como alvo principal a aquisição de conhecimentos básicos, a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação.

Propõe-se, no nível do Ensino Médio, a formação geral, em oposição à formação específica; o desenvolvimento de capacidades de pesquisar, buscar

informações, analisá-las e selecioná-las; a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização.

7.2) Nanotecnologia e Nanociências: a interdisciplinaridade

A interdisciplinaridade e contextualização foram propostas como princípios pedagógicos estruturadores do currículo para atender o que a lei estabelece quanto às competências de:

- vincular a educação ao mundo do trabalho e à prática social;
 - compreender os significados;
 - ser capaz de continuar aprendendo;
 - preparar-se para o trabalho e o exercício da cidadania;
 - ter autonomia intelectual e pensamento crítico;
 - ter flexibilidade para adaptar-se a novas condições de ocupação;
 - compreender os fundamentos científicos e tecnológicos dos processos produtivos;
- relacionar a teoria com a prática.

No universo nanométrico, todas as ciências se encontram. Átomos, moléculas e compostos tornam-se objeto de interesse de químicos, físicos, biólogos, médicos, engenheiros, cientistas de materiais, matemáticos, advogados, ambientalistas, educadores, sociólogos, políticos e filósofos.

Biologicamente falando, neste universo está o segredo da vida. Tem-se a questão filosófica. Em dimensões nanométricas, torna-se desafiador lidar com questões de tempo, espaço e energia. Estando próximo da escala atômica, elétrons movimentam-se em órbitas conservativas (sem perder

energia), podendo cruzar barreiras intransponíveis e podendo estar em dois lugares ao mesmo tempo, contrariando o bom senso. É a física clássica dando lugar à mecânica quântica, onde muito da lógica convencional não mais se aplica.

De acordo com os novos parâmetros curriculares, o novo Ensino Médio deve preparar os alunos para um futuro desafiador e em constante mudança. Torna-se necessário não somente reformular os conteúdos abrangidos no Ensino Médio, como também fazer uso da interdisciplinaridade, utilizando assuntos do cotidiano, para que o ensino não se torne apenas mecânico. Cabe ao professor despertar o interesse do aluno e fazer com que ele tenha um senso crítico quanto aos avanços da ciência e tecnologia.

Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo. Para a área das Ciências da Natureza, Matemática e Tecnologias, isto é particularmente verdadeiro, pois a crescente valorização do conhecimento e da capacidade de inovar demanda cidadãos capazes de aprender continuamente, para o que é essencial uma formação geral e não apenas um treinamento específico.

Ao se denominar a área como sendo não só de Ciências e Matemática, mas também de suas Tecnologias, sinaliza-se claramente que, em cada uma de suas disciplinas, pretende-se promover competências e habilidades que sirvam para o exercício de intervenções e julgamentos práticos. Isto significa, por exemplo, o entendimento de equipamentos e de procedimentos

técnicos, a obtenção e análise de informações, a avaliação de riscos e benefícios em processos tecnológicos, de um significado amplo para a cidadania e também para a vida profissional.

Com esta compreensão, o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla, desenvolvendo meios para a interpretação de fatos naturais, a compreensão de procedimentos e equipamentos do cotidiano social e profissional, assim como para a articulação de uma visão do mundo natural e social. Deve propiciar a construção de compreensão dinâmica da nossa vivência material, de convívio harmônico com o mundo da informação, de entendimento histórico da vida social e produtiva, de percepção evolutiva da vida, do planeta e do cosmos, enfim, um aprendizado com caráter prático e crítico e uma participação no romance da cultura científica, ingrediente essencial da aventura humana.

Uma concepção assim ambiciosa do aprendizado científico-tecnológico no Ensino Médio, diferente daquela hoje praticada na maioria das escolas, não é uma utopia e pode ser efetivamente posta em prática no ensino da Biologia, da Física, da Química e da Matemática, e das tecnologias correlatas a essas ciências. Contudo, toda a escola e sua comunidade, não só o professor e o sistema escolar, precisam se mobilizar e se envolver para produzir as novas condições de trabalho, de modo a promover a transformação educacional pretendida. (DCNEM, 1998)

Um grande empecilho ao desenvolvimento das novas práticas curriculares estabelecidas pela LDB para o Ensino Médio é a atual preocupação das escolas em “preparar para o vestibular”. Enquanto as escolas ainda possuírem essa mentalidade, os alunos continuarão a ser “adestrados”,

tendo que memorizar fórmulas e conceitos, ficando o desenvolvimento do senso crítico e a bagagem intelectual para segundo plano. E as desculpas das instituições de ensino continuarão as mesmas: falta tempo, o programa para o vestibular tem que ser cumprido, isso não deve ser ensinado, pois não é cobrado no vestibular, entre outros. Uma boa solução para esse caso é a modificação do conteúdo cobrado no vestibular, isso obrigaria as escolas a modificar seus conteúdos programáticos.

As modalidades exclusivamente pré-universitárias e exclusivamente profissionalizantes do Ensino Médio precisam ser superadas, de forma a garantir a pretendida universalidade desse nível de ensino, que igualmente contemple quem encerre no Ensino Médio sua formação escolar e quem se dirija a outras etapas de escolarização. Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. Para uma educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica. Como cada ciência, que dá nome a cada disciplina, deve também tratar das dimensões tecnológicas a ela correlatas, isso exigirá uma atualização de conteúdos ainda mais ágil, pois as aplicações práticas têm um ritmo de transformação ainda maior que o da produção científica.

O ensino atual privilegia aspectos teóricos, em níveis de abstração inadequados aos dos estudantes. Como o ensino atualmente pressupõe um número muito grande de conteúdos a serem tratados, com detalhamento muitas vezes exagerado,

alega-se falta de tempo e a necessidade de “correr com a matéria”, desconsiderando-se a participação efetiva do estudante no diálogo mediador da construção do conhecimento.

Deve-se considerar que a Química utiliza uma linguagem própria para a representação do real e as transformações químicas, através de símbolos, fórmulas, convenções e códigos. Assim, é necessário que o aluno desenvolva competências adequadas para reconhecer e saber utilizar tal linguagem, sendo capaz de entender e empregar, a partir das informações, a representação simbólica das transformações químicas. A memorização indiscriminada de símbolos, fórmulas e nomes de substâncias não contribuem para o desenvolvimento de competências e habilidades desejáveis no Ensino Médio.

Na escola, de modo geral, o indivíduo interage com um conhecimento essencialmente acadêmico, principalmente através da transmissão de informações, supondo que o estudante, memorizando-as passivamente, adquira o “conhecimento acumulado”. A promoção do conhecimento químico em escala mundial, nestes últimos quarenta anos, incorporou novas abordagens, objetivando a formação de futuros cientistas, de cidadãos mais conscientes e também o desenvolvimento de conhecimentos aplicáveis ao sistema produtivo, industrial e agrícola. Apesar disso, no Brasil, a abordagem da Química escolar continua praticamente a mesma. Embora às vezes “maquiada” com uma aparência de modernidade, a essência permanece a mesma, priorizando-se as informações desligadas da realidade vivida pelos alunos e pelos professores. (DCNEM, 1998).

Expor o assunto “nanotecnologia” para alunos de ensino médio nada mais é do que por em prática todos os pressupostos das DCNEM. Já foi visto nos capítulos anteriores que o termo nanociência engloba a física, a química, a biologia e outras ciências que trabalham em conjunto com o objetivo de desenvolver a tecnologia. Mas como abordar um assunto tão amplo em sala de aula para alunos de ensino médio, visto todas as deficiências curriculares que possuem? O que ensinar e como ensinar? Como despertar o interesse para um assunto tão complexo? Esse assunto será discutido nos próximos tópicos.

7.3) Uma proposta pedagógica: a nanoaventura na escola

A UNICAMP criou um projeto chamado de Nanoaventura na Escola, que pode servir de modelo para muitas instituições de ensino, no que diz respeito ao tema Nanotecnologia e Nanociências. O projeto, desenvolvido no Museu Exploratório de Ciências, Unicamp, Brasil, tem o propósito de despertar a curiosidade para o mundo das ciências, especialmente a nanociência e a nanotecnologia, tornando o nanomundo conhecido pelo grande público. Escalas, medidas, observação e manipulação de átomos e moléculas são alguns dos temas abordados.

O projeto, entre outras abordagens, oferece material ao professor para que ele possa inserir o assunto “nanotecnologia” em sala de aula, incluindo questões de fácil compreensão por parte dos alunos e que os coloca a par dos desenvolvimentos tecnológicos e, além disso, amplia conhecimentos, fazendo-os perceber situações cotidianas ainda não observadas.

Os visitantes, na faixa de 9 a 19 anos, responderam a um questionário que fazia referência à visita realizada e sobre termos gerais de nanociência e nanotecnologia. A exposição aparece como um lugar no qual eles conseguiram se aproximar das novidades, entre os quais, os aspectos conceituais ocupam o primeiro lugar, e os temas centrais, a nanociência e a nanotecnologia, são os

mais citados. Dois focos também são citados: a existência de pequenas partículas e de medidas nanométricas. Muitos não respondem. O termo nanotecnologia, por sua vez, fica um pouco difuso, foi definido como “ciência que...”, e deixou claro que ainda está um pouco confuso para eles traçarem limites entre ciência e tecnologia.

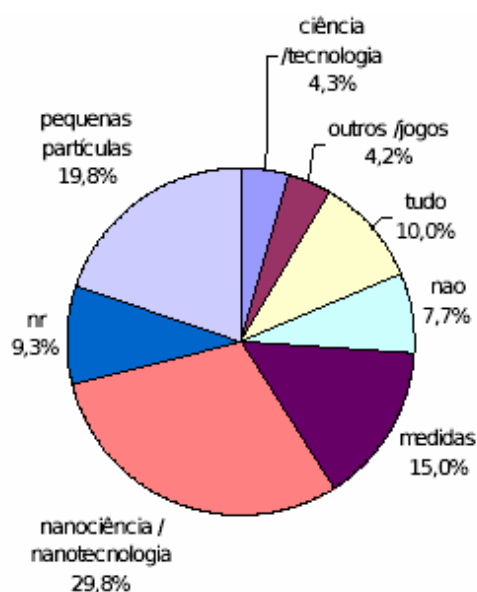


Figura 7.1 Conheceu algo novo na nanoaventura? O que?

Alguns dos tópicos dos questionários foram também abordados em entrevistas individuais. Com relação aos termos nanociência e nanotecnologia, as respostas tiveram as seguintes profundidades: (“nunca tinha ouvido falar sobre o tema”), (“eu conhecia o nano como uma medida... / medida muito pequena, mas não tinha o conhecimento que obtive agora aqui”).

A forma como a nanotecnologia foi definida através de seus usos associados a benefícios (“eu acho que hoje em dia pode-se usar em várias coisas, pode-se usar na medicina, num laboratório, em indústrias, igual eles falaram, em micro-equipamentos, máquinas, curar células, eu acho que tem uma infinidade de utilidades, e... estão pesquisando, estudando...”), (“salvar muita gente com esse negócio de curar e estudar o que é menor”), (“medicamentos para não poluir o meio”). A idéia que a nanotecnologia

modifica a matéria aparece em algumas citações (“Ah, é utilizada para modificar os átomos?”), (“... dá pra curar doenças. Modificar, sei lá, as coisas”).

A associação da nanotecnologia com o futuro também aparece (“é que a nanotecnologia é futuro do mundo porque cada vez tudo é mais pequeno, é... como fala?”).

As lembranças espontâneas da exposição dão conta de aspectos sociais-afetivos, de contexto físico, fazendo referência ao interior da exposição e ao exterior (Parque e Lagoa do Taquaral); e as propostas visuais, lúdicas e conceituais. Os jogos eletrônicos, fazendo referência ao tema central, foram os mais citados e o mais lembrado foi o “jogo das células”. Uma associação feita por um dos estudantes foi (“Foi muito interessante, estávamos aprendendo na escola sobre as células, achei o jogo de salvar as células o mais interessante”).

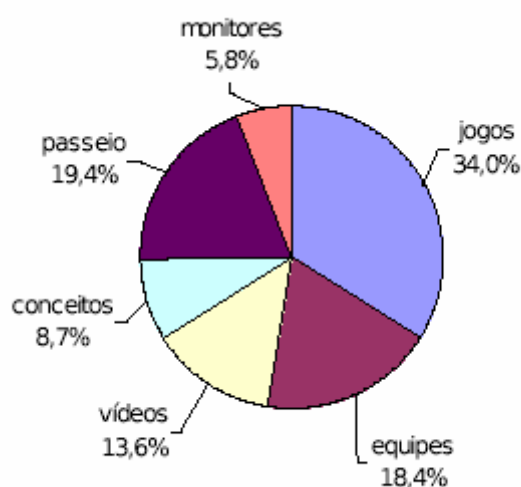


Figura 7.2 Lembranças da visita

A pergunta que enquadrava a nanotecnologia em um termo mais abrangente (“Para que você acha que se usa a tecnologia? E a nanotecnologia?”), teve um resultado onde metade dos alunos não souberam responder, e o restante atribuiu funções positivas: de melhora, de progresso,

de conhecimento, de criação de algo novo, sendo que nenhuma das respostas fez menção específica às aplicações da nanotecnologia.

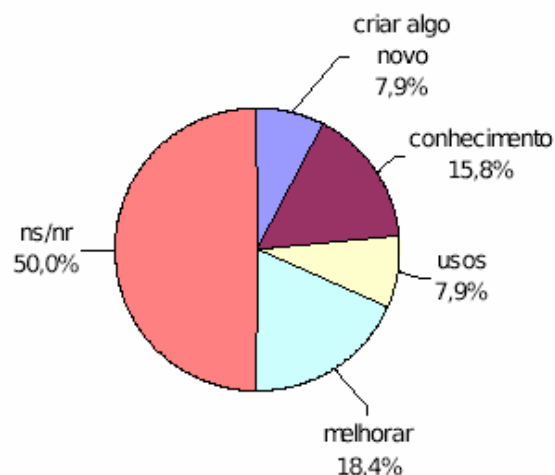


Figura 7.3 Para que se usa a Nanotecnologia?

De fato, nanociência e nanotecnologia aparecem como novos campos de exploração científico-tecnológica, mas os elementos nanométricos existiam já antes de ganhar a denominação de “nano”, que hoje os caracteriza.

Já foi mencionado que a Nanociência é a área do conhecimento que estuda as estruturas que têm, ao menos, uma de suas dimensões físicas da ordem de dezenas de nanômetros. A Nanotecnologia é a capacidade de não somente observar, medir e mexer nos átomos, mas também de criar novos materiais a partir deles. Apesar dessa classificação, as áreas são muito próximas e se retroalimentam permanentemente. A nanotecnologia já é considerada como uma “supradisciplina” que incluiria a física, a química, a biologia, a ciência de materiais e as simulações e modelagens computacionais.

7.4) Nanotecnologia: o tema em sala de aula

Abordar o assunto “nanotecnologia” em sala de aula não é uma tarefa fácil. Mas existem caminhos que podem facilitar e até enriquecer o conteúdo, facilitando sua compreensão.

O primeiro ponto que deve ser considerado importante é definir o que significa o prefixo nano. Pode ser dito que nano é algo muito pequeno, da ordem de 1 bilionésimo do metro. Mas isso pode ficar um tanto vago para alunos do ensino médio. Um caminho mais simples é utilizar comparações, isso facilitaria a compreensão, pois trabalharia com a imaginação dos alunos e eles passariam a ter uma idéia do tamanho de coisas que não podem ser observadas a olho nu.

Esse tipo de trabalho de comparação já é realizado, com coisas que se aproximam de nosso tamanho, sem que se possa perceber. Mas fazer uma comparação com algo grande ou pequeno demais se torna mais complexo. Para chegar à dimensão atômica, que é nanométrica, podem-se utilizar ordens de grandeza, e pode-se dizer que uma pessoa está na escala métrica, já que mede em torno de 1 m; se pensar em algo 10 vezes menor, a mão pode ser uma boa referência; 10 vezes menor que a mão são as unhas, com mais ou menos 1 cm, que pode ser também o tamanho de uma formiga. Uma pulga, de quase 1 milímetro, é 10 vezes menor que uma formiga e a espessura de um fio de cabelo é ainda 10 vezes menor. Indo além, 10 vezes menor que a espessura do fio de cabelo são algumas células do corpo, como os glóbulos brancos do sangue, e 10 vezes menores são os micróbios, como as bactérias, que são micrométricos. Os vírus são 10 vezes menores ainda; e 10 vezes menores são algumas moléculas, como as proteínas. A partir daí entra-se na escala nanométrica, na qual se encontra a molécula de DNA, cujo diâmetro é 10 vezes menor ainda e 10 vezes menores, são os átomos, da ordem de alguns décimos do nanômetro.

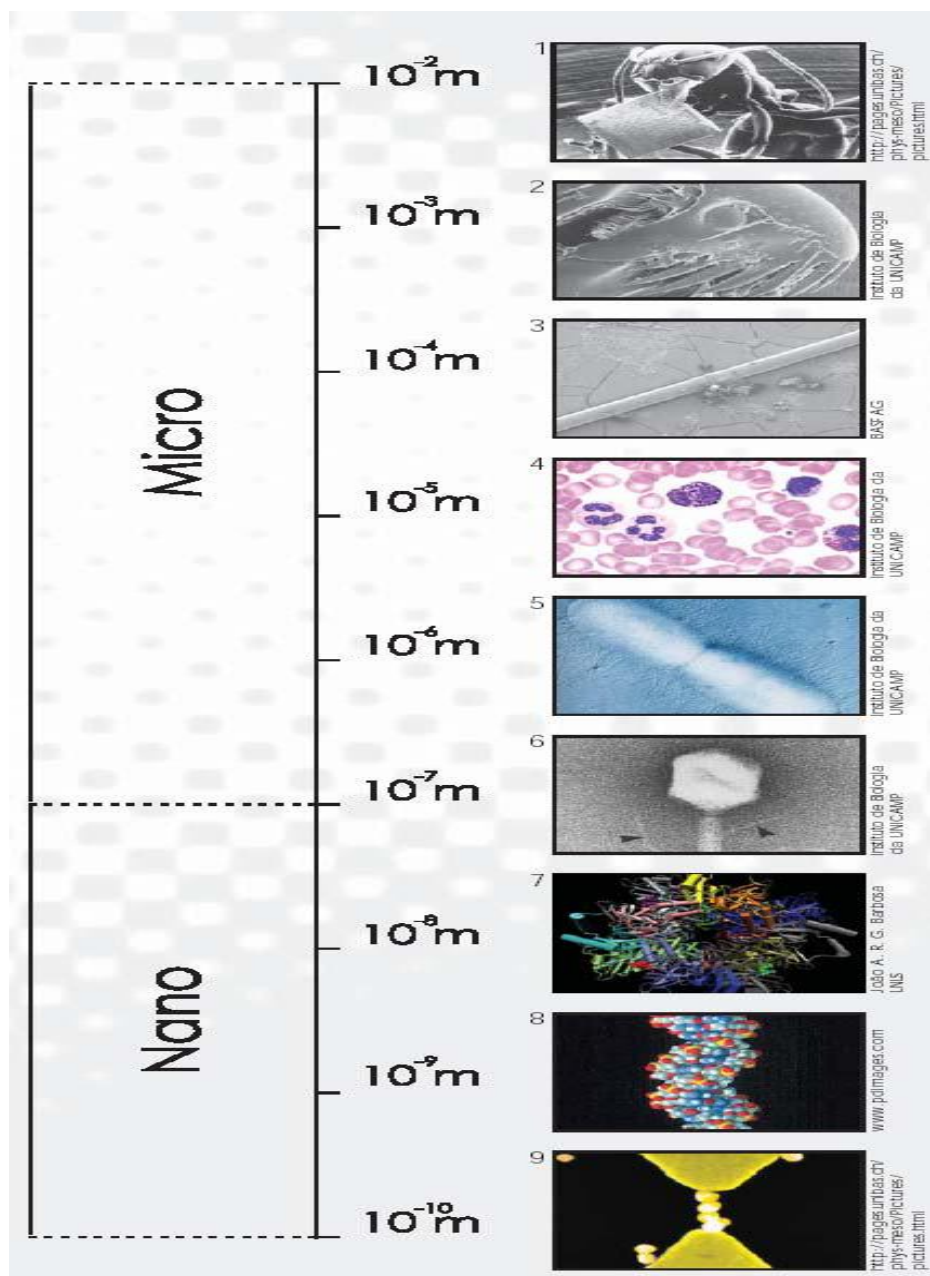


Figura 7.4 1- Formiga segurando um micro-chip. 2- Cabeça de uma pulga. 3- Zoom de um fio de cabelo. 4- Células do sangue. 5- Bactéria E-coli. 6- Vírus bacteriófago. 7- Proteína Rubisco. 8- DNA. 9- Quatro partículas de ouro formando um fio.

É importante esclarecer aos alunos que a importância da nanotecnologia não está somente no “tamanho das partículas”, mas também nas propriedades especiais e no comportamento diversificado que uma partícula nanométrica apresenta, quando comparada com uma partícula em escala macroscópica. O alumínio, por exemplo, em escala macroscópica, é

utilizado em diversas aplicações. Entretanto, na forma nanométrica, em pó, é auto-explosivo. Aproveitando esta abordagem, o professor pode ainda sugerir um debate a respeito dos riscos e benefícios da nanotecnologia, como também da química, atentando para o fato de que não existe uma química “boa ou má”. Existem boas e más aplicações, que devem ser utilizadas com responsabilidade.

Ainda que novas para o currículo escolar, a nanociência e a nanotecnologia não estão tão longe da sala de aula, uma vez que alguns conceitos básicos de ciências e matemática são as noções introdutórias e servem para facilitar a compreensão desses assuntos. A abordagem pode ser múltipla e a ênfase dada para distintas áreas disciplinares servindo, assim, de base para discutir diversos temas do currículo.

O estudo sobre instrumentos de observação e medida pode ser uma ponte para trabalhar a visão e os fenômenos óticos em geral, ou pode servir para uma abordagem histórica sobre a evolução instrumental nas ciências ou uma abordagem tecnológica para o desenvolvimento de protótipos. Trabalhar sobre a composição da matéria pode servir como forma de aproximação ao modelo atômico a partir de estruturas bem simples. Conforme o nível do grupo pode-se aumentar a complexidade. A pesquisa específica sobre produtos nanotecnológicos e sobre a difusão destes assuntos na mídia é um modo de se aproximar do impacto desta nova tecnologia na sociedade.

Creio que a síntese dos materiais nanométricos não chega a ser um ponto essencial a ser destacado no ensino médio. Os métodos de preparação são um tanto complexos, mas pode ser interessante mencionar que os compostos nanométricos podem ser formados utilizando o modelo de blocos “LEGO”. Isso facilitaria a compreensão por parte dos alunos. E que, como no LEGO, podemos ter “objetos diferentes” ao mudarmos o modo como o mesmo é montado. Pode ser citado o exemplo do carbono, em suas variadas formas

nanométricas, com ilustrações que permitam que o aluno perceba as diferenças estruturais.

7.4.1) Nanotecnologia e meio ambiente

Existe um movimento, chamado *Green Chemistry*, Química Verde, que vem ganhando força desde 1987, quando foi publicado o relatório da ONU sobre “nosso futuro”. Economizar materiais, evitar a produção de rejeitos, usar produtos mais seguros e matérias-primas renováveis e tornar os processos mais eficientes são alguns desses princípios, que visam harmonizar a Química à natureza. Atualmente, o movimento verde está se expandindo além das fronteiras da Química, para toda a área de produção, o setor de embalagens, alimentos, eletrônica. Afinal, todo processo industrial, não somente o químico, envolve produção e descartes.

A nanotecnologia é um caminho natural para a Química Verde. E isso deve ser levado até sala de aula. Quando se parte do macroscópico para a escala nano, tem-se a redução de milhões de vezes na dimensão e um aumento de milhões de vezes na área específica. Só esse aumento na área faz com que um grama de uma substância tenha a eficiência de um quilo. Em termos de cultura verde, significa economia de material, poluindo menos e com maior eficiência, perturbando menos o meio ambiente, que é a base da nanotecnologia.

A Química participa do desenvolvimento científico-tecnológico com importantes contribuições específicas, cujas decorrências têm alcance econômico, social e político. A sociedade e seus cidadãos interagem com o conhecimento químico por diferentes meios. A tradição cultural difunde saberes, fundamentados em um ponto de vista químico, científico, ou baseados em crenças populares. Por vezes, podemos encontrar pontos de contato entre esses dois tipos de saberes, como, por

exemplo, no caso de certas plantas cujas ações terapêuticas popularmente difundidas são justificadas por fundamentos químicos. Daí o investimento de recursos na pesquisa dos seus princípios e das suas aplicações. Mas as crenças populares nem sempre correspondem a propriedades verificáveis e podem reforçar uma visão distorcida do cientista e da atividade científica, a exemplo do alquimista, que foi visto como feiticeiro, mágico e não como pensador, partícipe da visão de mundo de sua época.

Além disso, freqüentemente, as informações veiculadas pelos meios de comunicação são superficiais, errôneas ou exageradamente técnicas. Dessa forma, as informações recebidas podem levar a uma compreensão unilateral da realidade e do papel do conhecimento químico no mundo contemporâneo. Transforma-se a Química na grande vilã do final do século, ao se enfatizar os efeitos poluentes que certas substâncias causam no ar, na água e no solo. Entretanto, desconsidera-se o seu papel no controle das fontes poluidoras, através da melhoria dos processos industriais, tornando mais eficaz o tratamento de efluentes. (DCNEM, 1998)

7.4.2) Questões que podem ser abordadas em sala de aula

Dada a complexidade do assunto “nanotecnologia”, algumas questões podem facilitar a abordagem em sala de aula. É importante incentivar o debate e a pesquisa nos mais variados veículos de comunicação, até para que os alunos possam ter uma visão de como a nanotecnologia vem repercutindo, se traz benefícios, se contribui para um desenvolvimento sustentável, entre outros fatores. Algumas questões foram propostas, a fim de serem discutidas em sala de aula. O conteúdo das perguntas é interdisciplinar, e, creio que de fácil compreensão para alunos do ensino médio:

1 – Qual é a altitude da maior montanha da Terra? Qual é a altura aproximada de um prédio de 50 andares? Qual é o comprimento de uma baleia azul, o maior animal conhecido? Qual é o comprimento de um beija-flor? Qual é o comprimento da pata de uma mosca? Qual é o diâmetro de um grão de areia? Qual é o diâmetro de uma célula? Qual é o comprimento de uma molécula de DNA? Estas e outras perguntas podem iniciar um debate geral no qual os alunos tentam “acertar” os tamanhos construindo uma escala ordenada e colocando as unidades de medida correspondentes. Uma pesquisa posterior que permita conferir os tamanhos certos pode servir de base para a reflexão sobre a percepção das grandezas.

2 – Para refletir sobre a ordem de grandeza, pode-se discutir com os alunos sobre as menores coisas conhecidas, tentando colocar os itens em ordem crescente ou decrescente de tamanho. Para complementar, pode-se fazer uma discussão sobre quais objetos podem ser vistos a olho nu e quais precisam de outros instrumentos para serem observados. Pode ser sugerido que eles façam o menor ponto que conseguirem, utilizando um lápis ou lapiseira com a ponta muito fina. Pode-se pedir que tentem determinar o tamanho do menor ponto que eles conseguem ver a olho nu e depois o mesmo procedimento com uma lupa. Pode-se utilizar a comparação dos resultados e fazer uma discussão a respeito da importância dos instrumentos ópticos que ampliam imagens.

3 – Para que servem os microscópios? Quando foram construídos os primeiros microscópios e qual o aumento que eles proporcionavam? Os alunos podem pesquisar os diferentes instrumentos que servem para observar aquilo que é invisível a olho nu e as épocas em que foram inventados. Que objetos podiam ser observados? Que importância tiveram e têm atualmente esses instrumentos? Pode ser construída, por exemplo, uma cronologia comparativa.

4 – De que são feitas as coisas? Para refletir sobre a composição da matéria, podem-se escolher diferentes substâncias e materiais conhecidos e discutir com os alunos de que são feitos, tentando se aproximar cada vez mais de sua

estrutura e de seus componentes fundamentais. Substâncias de composição simples como a água ou o grafite, podem ser os primeiros exemplos a serem pesquisados.

5 – O que são as *nano-coisas*? Utilizando diferentes recursos (livros, revistas, internet, entre outros), pode ser sugerido aos alunos que realizem uma pesquisa sobre as substâncias e os materiais nano (grafite, carbono, impurezas, célula, DNA, fios de ouro). Pode ser criada uma discussão sobre questões estruturais e de composição, aplicações tecnológicas e sua importância. Pode-se, também, propor uma reflexão escrita ou oral sobre as informações relativas aos exemplos pesquisados.

6 – Nanotecnologia, para quê? Podem ser feitas pesquisas com alunos sobre os distintos processos e produtos que utilizam nanotecnologia. A atividade poderia ser orientada por perguntas do tipo: O que é um nanotubo de carbono? Para que são utilizados? Como são construídos? Isso é feito no Brasil? Qual a diferença entre esses materiais e os já existentes?

7 – A mídia fala da nanotecnologia? Pode-se pedir para os alunos pesquisarem, em revistas e jornais, artigos e matérias que falem sobre a nanociência ou nanotecnologia e discutirem em sala de aula seus conteúdos e as distintas abordagens do material encontrado. Para ampliar a pesquisa, pode-se procurar novidades e informações sobre a temática também na Internet.

8 – A nanotecnologia contribui para o desenvolvimento sustentável? Um debate pode ser aberto, sugerindo que os alunos façam uma pesquisa da atuação da nanotecnologia na prevenção de poluição ou danos diretos ao meio ambiente, bem como no tratamento e detecção de poluição.

8 - CONCLUSÃO

A ciência brasileira está avançando a passos largos. As pesquisas em nanotecnologia seguem o mesmo caminho, gerando novos conhecimentos científicos e tecnológicos em diversas fronteiras do conhecimento, principalmente nas interfaces entre duas ou mais áreas do conhecimento, onde a química vem consolidando um papel cada vez mais central. A estratégia supramolecular é uma das mais promissoras estratégias de atuação dos químicos nessa revolução, pois permite criar uma lógica química para o desenvolvimento de novos materiais e novos produtos. Contudo, é necessário criar os fundamentos para o desenvolvimento de nanomateriais e sistemas cada vez mais complexos, visando o futuro. Não basta o conhecimento técnico-científico. É necessária a criação de uma política de desenvolvimento educacional, científico-tecnológico e industrial integradas, que permitam a formação de recursos humanos de alta qualidade. Esforços também devem ser canalizados no sentido de promover mudanças culturais, visando à criação de uma sociedade tecnológica.

Nós criamos uma civilização global em que os elementos mais cruciais – o transporte, as comunicações e todas as outras indústrias, a agricultura, a medicina, a educação, o entretenimento, a proteção ao meio ambiente e até a importante instituição democrática do voto – dependem profundamente da ciência e da tecnologia. Também criamos uma ordem em que quase ninguém compreende a ciência e a tecnologia. É uma receita para o desastre. Podemos escapar ilesos por algum tempo, porém mais cedo ou mais tarde essa mistura inflamável de ignorância e poder vai explodir na nossa cara.

C. Sagan. Relatório da Reunião Educação para o Século XXI.

No tocante às mudanças implementadas ao Ensino Médio, levará algum tempo para que as Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio

(DCNEM) possam se estabelecer por completo. O processo de implementação é meio que de ruptura e transição. Ruptura porque sinaliza para um Ensino Médio significativamente diferente do atual, cuja construção vai requerer mudanças de concepções, valores e práticas, mas cuja concepção fundante está na LDB.

A nanotecnologia surge como uma ciência nova e que requer toda uma mudança na estrutura curricular do Ensino Médio, para que possa ser compreendida. Somente com uma abordagem interdisciplinar e com o desenvolvimento de uma visão crítica por parte de aluno e professor, o tema poderá ser abordado com maior facilidade em sala de aula.

A consciência de que o conhecimento científico é assim dinâmico e mutável ajudará o estudante e o professor a terem a necessária visão crítica da ciência. Não se pode simplesmente aceitar a ciência como pronta e acabada e os conceitos atualmente aceitos pelos cientistas e ensinados nas escolas como “verdade absoluta”. Assim, por exemplo, a investigação de compostos químicos interestelares conduziu recentemente à inesperada identificação de uma nova classe de alótropos de carbono batizados de “fulerenos”, abrindo um campo de pesquisa inteiramente novo.² Tampouco deve o aluno ficar com impressão de que existe uma “ciência” acima do bem e do mal, que o cientista tenta descobrir. A ciência deve ser percebida como uma criação do intelecto humano e, como qualquer atividade humana, também submetida a avaliações de natureza ética (DCNEM, 1998).

² Em 1985, Richard Smalley, Robert Curl e Harry Kroto descobriram uma molécula inédita, o fullereno, batizada com este nome pelo americano Buckminster Fuller, devido às suas cúpulas geodésicas inventadas e popularizadas. A motivação era uma investigação básica para replicar, no laboratório, presumíveis reações químicas ocorrentes nas atmosferas de estrelas gigantes vermelhas ricas em carbono. O fullereno corresponde a menor e mais estável arrumação de átomos de carbono puro.

No entanto, seria ignorar a natureza das mudanças sociais, entre elas, as educacionais, supor que o novo Ensino Médio deverá surgir do vácuo ou da negação radical da experiência até agora acumulada, com suas qualidades e limitações.

Dessa dinâmica entre transição e ruptura vai surgir a aprendizagem com os acertos e erros do passado e a incorporação dessa aprendizagem para construir modelos, práticas e alternativas curriculares novas, mais adequadas. Como toda reforma educacional, terá etapas de desequilíbrios, seguidas por ajustes e reequilíbrios.

Somente quando ocorrer o fechamento de um ciclo, conectando diversos segmentos da sociedade (escolas, universidades, centros e institutos de pesquisa tecnológica, empresas e governo), haverá agregação de valor aos conhecimentos científicos, transformando-os em riquezas, assim promovendo o desenvolvimento sustentável do País.

9 – REFERÊNCIAS

- ARAKI, Koiti. *Estratégia Supramolecular para a Nanotecnologia*. Química Nova, vol. 30, n.6, p. 1484, 2007.
- BRIDER, Inah; FARIA, Isabella. *Nanotecnologia e nanociência: o mundo lilliputiano*. Disponível em <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/quimica/quim03.htm>. Acesso em 15/01/2008.
- DURAN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo César de. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Artliber Editora, 2006.
- FEYNMAN, Rychard. *Há mais espaços lá embaixo* (Tradução). ComCiência, Reportagens, n. 37, novembro/2002. Disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano19.htm>. Acesso em 16/10/2007.
- *Introdução à Nanotecnologia*. Disponível em http://ftp.mct.gov.br/temas/Nano/introducao_nano.htm. Acesso em 15/01/2008.
- MELO, Celso Pinto de; PIMENTA, Marcos. Nanociências e nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, agosto/2004. Disponível em <http://www.cgee.org.br/parcerias/p.18.php>. Acesso em 20/11/2007.
- MURRIELLO, Sandra Elena; KNOBEL, Marcelo, VOGT, Carlos A. *Nanotecnologia, uma tecnologia para o público novo*. Disponível em <http://www.2ricyt.org>. Acesso em 20/10/2007.

- *Projeto Nanoaventura*. Disponível em <http://www.nanoaventura.org.br>. Acesso em 13/10/2007.
- QUINA, Frank. *Nanotecnologia e o Meio Ambiente: Perspectivas e Riscos*. Química Nova, vol. 27, n.6, p. 1028, 2004.
- ROSA, Rui Namorado. *Nanociência e Nanotecnologia: olhar de um físico*. Disponível em http://www.janelaweb.com/digitais/rui_rosa24.htm. Acesso em 15/01/2008.
- SHRIVER, D.F; ATKINS, P,W. *Inorganic Chemistry*. 4th edition. New York, Freeman and Company, 2006.
- TOMA, Henrique E. *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- TOMA, Henrique E. *Interfaces e Organização da Pesquisa no Brasil: da Química à Nanotecnologia*. Química Nova, vol. 28, p. 48, 2005.