

A Conferência Internacional sobre Ciência e Aplicação de Nanotubos – NT07: um relato

24-29 de Junho de 2007
Ouro Preto – Brasil

A conferência internacional sobre a ciência e aplicação de nanotubos (NT) de carbono, realizada em Ouro Preto, entre os últimos dias 24 e 29 de junho, foi espaço da interação de uma comunidade global, repleta de brasileiros (130 de um total de 370 participantes), tendo o inglês como idioma oficial, e uma programação que mostrou um pouco da cultura do Brasil, de Minas Gerais e da expressão barroca mais genuína que teve lugar na antiga capital do ouro, especialmente no século XVIII. É possível que japoneses, coreanos, chineses, norte e latino-americanos, europeus de diversas nacionalidades não esperassem noites animadas depois da intensa programação científica acompanhada à risca. Mas já faz parte da literatura sociológica sobre o meio acadêmico-científico, a noção dos “colégios invisíveis”, locais em que esta comunidade se confraterniza despreziosamente. Os cafés, bares, praças e, porque não dizer, congressos, onde colegas de umas e outras disciplinas se interagem – aprendem segredos, trocam endereços, reforçam e renovam convicções, termos, valores, ensaiam colaboração, principiam amizades.

Em se tratando de uma comunidade internacional, estes momentos são únicos para se promover uma aproximação até então somente restrita à troca de e-mails e à identificação à distância de mitos e personagens que fazem o orgulho e a saudável competição pelo avanço do conhecimento. De outro modo, conferência como a NT07 revela um alto percentual de participantes jovens, não apenas físicos, mas químicos, engenheiros e gente da área biológica, ocupando posições de destaque, liderando parte significativa dos projetos nesta linha de fronteira da pesquisa científica e tecnológica mundial.

A professora Mildred S. Dresselhaus, uma entre os doze “*Institute Professors*”, posição mais elevada do Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), observa que é preciso conversar com os mais jovens, colher a opinião deles. São mais otimistas e ligados no que é promissor, no que está na ordem do dia em pesquisa científica.

Para o coordenador da NT07 e da Rede Nacional de Pesquisa em Nanotubos de Carbono (www.fisica.ufc.br/redenano/), professor Marcos Pimenta (Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG/Brasil), um dos papéis cumpridos pela NT é o de proporcionar aos estudantes do país-sede a oportunidade de interagirem diretamente com o que há de mais significativo na área. “Seria impossível atingir este público com um evento realizado fora do país”.

O idealizador das conferências NT, e co-organizador de todas as edições, é o professor David Tomanek, da Universidade Estadual de Michigan, Estados Unidos. Tomanek explica que desde a primeira edição (NT99), pensada para ser única, a idéia é promover um evento democrático, com foco não nas

peças "importantes", mas nas que estão em franca atividade. "O mais importante das conferências é a comunicação direta entre os participantes". Tomanek reforça o espírito da informalidade como facilitador da comunicação. Mostra seu crachá: "Veja! nada de 'professor' ou 'doutor'... Primeiro nome: ...David!". A eliminação do título ajuda a quebrar barreiras, facilita a interação dos estudantes com os cientistas presentes. Ao final do encontro Pimenta convida Tomanek a premiar os estudantes que fizeram mais perguntas na NT.

O vertiginoso crescimento dos nanotubos de carbono (NTCs) – só em 2006, são 5000 artigos científicos – espelha o dinamismo do campo. O contexto justifica a organização de um evento que deverá "cobrir tudo o que está acontecendo na área, da teoria à aplicação, da síntese à medicina e eletrônica", observa Tomanek. A realização da conferência sem atividades paralelas parece acertada. Na NT, as pessoas participam de todas as sessões. Alguns painéis são selecionados para apresentação em plenário e, diariamente, pessoas escolhidas fazem a apresentação panorâmica de uma seção de painéis, que serão depois explicados individualmente, pelos autores, na sala de exposições.

A proposta é elogiada por um pesquisador brasileiro, que se diz cansado de conferências com monótonas sessões em que uma bateria de autores têm, cada um, poucos minutos para mostrar seus resultados em *power point*. "É muito frustrante para quem apresenta e pouco produtivo e entediante para os que assistem".

Além do espírito da participação, Tomanek chama atenção para outro princípio das conferências NT. "Queremos promover os grupos excelentes que não são bem conhecidos. Isso causa surpresas no meio internacional e nos próprios países em que as conferências acontecem. Fazemos as conferências onde há grupos ativos e reconhecidos. Não procuramos cidades bonitas ou famosas".

No encerramento da Conferência de Ouro Preto (local definido pelo grupo de Belo Horizonte), a coordenação da próxima edição da Conferência apresenta um quadro da realidade da produção e interação científica que qualificam a França, o Centro Nacional de Pesquisas Científicas (CNRS) e a Universidade de Montpellier para a organização e sede da NT08. O ritual fortalece a tradição de realizar as conferências de nanotubos de carbono em lugares realmente ativos na área e lembra a cada comunidade nacional de pesquisa que é preciso buscar o melhor de si para obter este reconhecimento.

Fatores para o Desenvolvimento do País

David Tomanek lembra outra intenção da conferência. "Desde que a corrida dos nanotubos de carbono começou, em 1991, precisávamos de um evento central que nos ajudasse a educar o governo sobre as boas oportunidades" que decorreriam da sua aplicação. Afinal, "nos Estados Unidos, se não houver aplicação, o dinheiro não vem".

Marcos Pimenta observa que um evento como a NT07 ajuda a promover na comunidade internacional a qualidade dos grupos de pesquisa de um país pouco ouvido como o Brasil. O fato da pesquisa brasileira se tornar referência internacional da área traz resultados objetivos para os pesquisadores do país. Um deles "é proporcionar um olhar mais interessado dos que avaliam os trabalhos de brasileiros nas principais publicações internacionais". Além disso, "a conferência é espaço para ensaiar parcerias. Nelas são abertas possibilidades de colaboração. Na interação dos NTCs com aplicações biomédicas, por exemplo, convidados de fora se surpreenderam com técnicas aqui desenvolvidas e é bem provável que grupos de pesquisa de outros países já estejam convencidos dos benefícios de cooperarem com os melhores grupos brasileiros".

A professora Glauro Goulart Silva (Departamento de Química – UFMG) percebe no estágio atual do desenvolvimento da pesquisa em nanotubos de carbono, uma grande oportunidade para países como o Brasil. "A NT07 mostra que os trabalhos de preparação e os materiais que irão integrar os NTCs com características tão diversificadas, compõem uma ciência que está apenas começando. A investigação de materiais e dispositivos baseados em nanotubos de carbono está ainda na infância e o Brasil, por já contar com grupos de ponta na área, tem chance rara de acompanhar seu desenvolvimento em patamar de igualdade com os países mais avançados".

Esta avaliação é reforçada por outro aspecto, considerado pelo professor Ado Jório (UFMG), um dos coordenadores do 1º Fórum Internacional em Metrologia, Padronização e Qualidade Industrial de Nanotubos, uma das duas *conferências satélites* realizadas no Rio de Janeiro, dois dias antes da abertura da NT07. Jório afirma que o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) está se estruturando com laboratórios equivalentes aos das melhores universidades do país. O Brasil estará apto a certificar seus produtos em NTCs, quando começar a exportá-los. Para Jório, não se deve esperar por condições ideais de produção, para iniciar a estruturação de um sistema de monitoramento e padronização da qualidade de nanomateriais. "Fazer nanometrologia é hoje um problema de ciência básica. Tem sido nos últimos 10-20 anos. A manipulação do nanotubo de carbono é tarefa complexa, que pode levar à alteração de suas propriedades" [por exemplo, o NTC metálico passando a semicondutor, ou o contrário]. "Para se chegar a um controle preciso, a metrologia tem que estar *colada* na ciência".

Jório explica que "os microscópios eletrônicos atuais não têm calibração para lidar com NTCs". E a realidade é que, internacionalmente, se está produzindo "grandes quantidades de NTCs de múltiplas camadas, mas, em geral, sem controle de pureza". Se o Inmetro conseguir recrutar pessoal qualificado para a nova tarefa, poderá se colocar no mesmo padrão de instituições norte-americanas como o NIST [o Instituto Nacional de Padrões (*Standards*) e Tecnologia] e a NASA [Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço]. Segundo Jório, a conferência satélite de metrologia mostrou que estas instituições estão ainda no "básico do básico", trabalhando para firmar

protocolos e padrões ou porcentagens de pureza relativos aos NTCs. Em outras palavras, o momento é bom para uma objetiva e profunda estruturação da nanometrologia brasileira. Os rápidos e crescentes avanços e saltos de qualidade na produção dos NTCs justificam também o investimento como condição necessária para acompanhar as mudanças e proporcionar a devida orientação às empresas que queiram ingressar no clube de produtores de nanotubos.

Origens, materiais e síntese

Em um Estado marcado pela tradição mineiro-metalúrgica (Ouro Preto situa-se no centro de uma das principais províncias minerais do Brasil) não podemos evitar a questão sobre a razão de vários grupos de pesquisa em NTCs estarem associados a departamentos de metalurgia de instituições acadêmicas e científicas em diferentes lugares. "No Brasil, esclarece a professora Glaura Goulart Silva, os grupos ativos da área estão normalmente associados a departamentos de Física e Química". Marcos Pimenta lembra que "a ciência dos materiais é muito recente e nasceu, em vários lugares do mundo, nos departamentos de Engenharia Metalúrgica. Depois disso, materiais como fibras de carbono, plásticos e cerâmicos incorporaram-se ao cenário – trazendo novas possibilidades de aplicação, desafios e elaborações para a engenharia".

Um dos consensos sobre a NT07 é o avanço já observado nos métodos de síntese e na diversidade de materiais apresentados. Mario Romero-Ortega, engenheiro químico e professor de Neurologia e Engenharia Biomédica (Universidade do Sul do Texas, EUA), destaca que a produção de diferentes tipos de NTCs e compósitos destes é um grande serviço que os que trabalham com síntese oferecem ao desenvolvimento da ciência e aplicação de NTCs. Romero-Ortega argumenta que não devemos "competir por um produto, mas trabalhar em sinergia, buscando a diversidade da produção", que poderá ser testada em diferentes aplicações, por diferentes grupos de pesquisa. "Não tenho que produzir este nanotubo ou aquele compósito no meu laboratório". O pesquisador é um entusiasta da estruturação das redes de cooperação, como forma de eliminar as desvantagens locais deste ou daquele grupo.

O químico Aldo Zarbin (Universidade Federal do Paraná – UFPR) também nota na NT07 considerável avanço em síntese e funcionalização [introdução de grupos químicos que alteram as características dos NTC, tornando-os mais solúveis, biocompatíveis etc]. "Essas duas frentes evoluíram demais. Não dá para pensar em aplicações sem ter o material de partida, isto é, o nanotubo de carbono, com propriedades adequadas. A NT07 demonstra que os métodos químicos estão, neste aspecto, muito à frente dos demais".

O desafio maior é sintetizar com alta pureza, homogeneidade, quantidade e baixo preço. Zarbin constata que a NT07 apresentou "grandes contribuições sobre alguns destes aspectos isoladamente ou, no máximo, associado a um segundo aspecto" – por exemplo, homogeneidade e pureza, ou quantidade e

preço. Há, contudo, um bom caminho a percorrer para que se sintetize, com bons resultados nos quatro aspectos, simultaneamente.

Outra constatação da NT07, segundo Marcos Pimenta, é a de que o chamado método CVD (*Chemical Vapor Deposition*), e em especial com o uso do álcool como material de partida (ou precursor), está dominando os trabalhos de síntese de NTCs.

O professor Ernesto Joselevich, do Instituto Weizmann de Ciência (Israel), aponta os trabalhos do grupo liderado pelo professor Alan Windle, da Universidade de Cambridge (GB), como dos que mais o surpreenderam na Conferência de Ouro Preto. Windle está fiando os tubos diretamente do reator de CVD, o que lhe permite produzir fibras com tamanhos ilimitados.

Joselevich chama a atenção para dois tipos de organização de nanotubos: em superfícies verticais, que poderão viabilizar a produção de nanotubos emissores de elétrons para monitores de vídeo; e em superfícies horizontais, propensos à montagem de nanocircuitos. Segundo Joselevich, o crescimento de NTCs de modo organizado, vem sendo obtido mediante o emprego de campos elétricos ou jatos de gás. Outra técnica, com que vem trabalhando, é a da preparação de uma superfície epitaxial – superfície sobre a qual se produz crescimento organizado – obtida de um corte em diagonal produzido em um cristal, de tal forma que a superfície contenha degraus em escala atômica. A combinação destes degraus atômicos com os campos elétricos permite a estruturação de nanotubos na forma de redes e diferentes arquiteturas.

O método CVD pode utilizar-se de qualquer matéria que possua carbono – gás natural, metanol, biomassa etc –, como precursora da síntese dos NTCs. Pimenta lembra que “a utilização do etanol como precursor do método CVD de produção de nanotubos, deverá também interessar cada vez mais a países como o Brasil”.

Embora haja demanda de mercados e tecnologia para produção industrial de NTCs – compósitos poliméricos, especialmente –, Zarbin constata que “muito pouca gente trabalha com síntese no Brasil. Ele cita o Laboratório de Química dos Materiais da UFPR, o da USP de Ribeirão Preto e o grupo liderado por Luiz Orlando Ladeira e Rodrigo Lacerda, na UFMG. “O grupo da UFMG é no momento o único voltado a fazer crescimento em larga escala, e já conseguiu atingir um nível pré-industrial de produção”.

Eletrônica

Em áreas como a eletrônica, observa o professor indiano Pulickel Ajayan (Instituto Politécnico Rensselaer - Troy, EUA), talvez países como a Índia e o Brasil precisariam de força econômica e tecnológica maior do que a de que dispõem para ser competitivos. Para ele, os tomadores de decisão irão colocar dinheiro onde cada país possa tirar mais benefícios. No caso da Índia, Ajayan opina que estas áreas são meio ambiente, ciências médicas e energia

alternativa.

Na NT07, não houve quem contestasse o quadro (conf. Anexo) apresentado pelo professor Ajayan, sobre o desenvolvimento e a aplicação industrial dos NTCs nos próximos anos. Neste quadro, e o que parece um consenso, o desenvolvimento da eletrônica, baseada nos nanotubos de carbono, é uma realidade ainda distante.

Marcus Freitag, físico e pesquisador da IBM, não crê na substituição da tecnologia do silício, em curto e médio prazos. Ele acredita que poderemos atingir resultados mais rápidos com os nanofios, que podem ser feitos com diferentes elementos, e assim resultar em diferentes tipos de junção. A vantagem dos NTCs, contudo, é que "são bem menores e mais resistentes que os nanofios e têm ótimas propriedades de transporte elétrico, bem superiores ao silício ou aos nanofios".

"Não há como imaginar o nanotubo substituindo todas as funções presentes em um chip", esclarece Freitag. "Estamos ainda no estágio de compreender como os NTCs poderiam servir como dispositivos eletro-ópticos em um circuito reduzido de transistores. Já construímos um circuito importante, o oscilador em anel, contendo 10 transistores fabricados no mesmo nanotubo". Freitag explica que foi necessário construir os transistores no mesmo nanotubo para que eles tivessem características semelhantes. "Esse oscilador operou em frequências de 80 Mega Hertz (MHz) [um MHz equivale a um milhão de oscilações por segundo], ainda muito baixas, mas o limite teórico em nanotubos está em Tera Hertz [1 THz = 1.000.000 de MHz], uma faixa de frequência fora das possibilidades do silício". Marcus Freitag estuda as propriedades de emissão de luz por transistores feitos com nanotubos de carbono semicondutores. Como esses transistores são bipolares [podem conduzir corrente elétrica tanto com cargas negativas quanto positivas], há emissão de luz dependendo das condições de operação. Esta luz pode ser então utilizada para comunicação óptica em escala nanoscópica. A comunicação eletrônica e óptica entre transistores, por intermédio de nanotubos, é enfim um dos principais objetos da atividade de Freitag na IBM.

Os físicos Antônio Gomes Souza Filho (Universidade Federal do Ceará – UFC) e Eduardo Barros (pós-doutorando da Universidade de Tohoku, Japão) lideraram uma pesquisa apresentada na NT07, e ilustrada no relatório da professora Dresselhaus como importante desafio a ser enfrentado em relação às propriedades fotofísicas dos nanotubos de carbono de parede dupla (Double Wall Carbon Nanotube - DWCNT) e suas possíveis aplicações. O estudo relata o comportamento destes tipos de nanotubos, com paredes interna e externa, respectivamente, metálica (M) e semicondutora (S), ou vice-versa, submetidas a dopagem exo-hedral [isto é, por meio de tratamento químico com gases ou líquidos – no presente caso, bromo gasoso e ácido sulfúrico]. "Estamos ainda investigando os princípios básicos", informa Barros. "Conhecendo como o tratamento químico produz a transferência ou troca de carga elétrica com as estruturas externa e interna dos DWCNT, caminhamos para entender como

controlar suas propriedades eletrônicas”. Um passo seguinte será entender a mesma situação com configurações de nanotubos de paredes duplas M-M e S-S. A possibilidade de construir nanotubos de parede dupla, como nanocabos coaxiais, representa uma interessante perspectiva de aplicação eletrônica, mas longe ainda de ser solucionada pela nanoengenharia, acredita Barros.

Segundo o físico os nanotubos de carbono poderão também cumprir outra função importante para os circuitos eletrônicos, o de substituir o material empregado na produção dos *coolers* (resfriadores), que evitam que os transistores, trabalhando em alta temperatura, se fundam. Como os *coolers* atuais são mais pesados e ocupam considerável espaço nos circuitos, sua substituição por outros feitos com polímeros em NTCs, com propriedades térmicas mais eficazes, permitirão a montagem de equipamentos eletrônicos menores e mais leves do que os atuais.

Embora haja muito chão a ser percorrido na aplicação dos NTCs em eletrônica, Marcos Pimenta sintetiza: “Talvez vivamos hoje a Idade do Silício, mas é bem provável que a Idade do Carbono esteja a caminho”.

Grafeno

A professora Dresselhaus também aponta no relatório apresentado no final da Conferência que o Grafeno é um item quente e em rápida expansão verificado nesta conferência. Para o próximo ano, devemos esperar o crescimento das possibilidades de interface entre o grafeno e os NTCs, prevê o relatório. O assunto fascina Barros e Pimenta, quer pelas propriedades eletrônicas excepcionais quanto pelas possíveis aplicações em nanotecnologia. Barros lembra que em 2006 foram publicados 400 trabalhos teóricos e apenas 20 experimentais sobre o Grafeno, mostrando o longo caminho a ser ainda percorrido. Mas como lembra o relatório da NT07, as propriedades similares e também as diferenças entre as duas estruturas de carbono possibilitam uma grande interação dos respectivos conhecimentos e investigações.

Biomedicina e Fármacos

Outro ponto quente da ciência e aplicação de nanotubos de carbono é o das suas interações com a biologia, medicina e a farmacologia. A NT07 mostrou avanços significativos e perspectivas que poderão representar grandes progressos no tratamento de doenças como o câncer.

Até pouco tempo, havia um temor de que os NTCs fossem dotados de propriedades tóxicas, o que gerava uma forte resistência na comunidade médica, quanto a seu emprego para tratamento de doenças. O que se está observando, entretanto, não confirma os temores iniciais.

A biocompatibilidade dos NTCs tem se revelado uma propriedade singular para sua utilização no silenciamento gênico, no carreamento de drogas, e como biossensores e biocompósitos. Para Luiz Orlando Ladeira (UFMG), esta é a área

mais promissora que se percebe numa conferência como a NT07. "O nanotubo fornece um suporte amigável para o crescimento celular". No caso do silenciamento gênico, Ladeira informa que o NTC poderá ser utilizado para transportar um segmento de RNA, para silenciar o comando de síntese de proteínas com propriedades patológicas pelas células.

Um dos segredos da aplicação de nanotubos de carbono em atividades terapêuticas é o seu emprego na forma de nanotubos isolados. Em boa parte dos ambientes verifica-se a tendência de os nanotubos se aglomerarem, formando assim corpos maiores, o que inviabilizaria sua passagem pelas células, sem causar danos. As descobertas recentes sobre a funcionalização de NTCs, criando condições para que estes sejam solubilizados (isto é, não se juntem) em água – Pimenta aponta o trabalho do físico francês Alain Pénicaud, presente também em Ouro Preto – vêm reforçar o potencial do seu uso biocompatível.

O professor Mario Romero-Ortega direcionou rapidamente suas pesquisas para a interação com nanotubos de carbono, depois de trabalhar com o professor Ray Baughman (Instituto Nano-Técnico, Universidade do Texas, EUA), que passou a lhe oferecer suportes em NTCs, para crescimento de células. Até então, suas experiências com os NTCs tinham sido infrutíferas, pois os suportes com que trabalhava eram manufaturados de tal forma que os nanotubos, dispersos ou com resíduos tóxicos provenientes dos catalisadores, danificavam as células. Romero-Ortega verificou que o processo de fabricação, considerados o nível de pureza e a forma de preparar as malhas ou redes de nanotubos, era determinante para os resultados.

Ele trabalha atualmente com a utilização de nanotubos de carbono para regeneração de nervos e aposta que os NTCs irão melhorar a qualidade da transmissão de informações para funções biônicas, ou seja, como conectores entre atividades cerebrais e órgãos do corpo humano (terminações nervosas na pele, mãos, braços etc), que tenham, por exemplo, que ser reconstituídos ou reativados. Para Romero-Ortega a biocompatibilidade dos nanotubos de carbono facilitará muito esse tipo de interface.

Outro engenheiro químico também presente na NT07, o professor Kostas Kostarelos, da Escola de Farmácia da Universidade de Londres, fala de algumas vantagens dos nanotubos de carbono no tratamento de doenças. "Observamos que os nanotubos penetram a célula e também são excretados pela urina com grande facilidade. Isto significa que não serão acumulados por órgãos do corpo humano", ao contrário do que pode ocorrer com nanomateriais medicamentosos de formato esférico, por exemplo. "Um dos nossos desafios é descobrir como manter no corpo humano os compósitos com NTCs para tratamentos mais prolongados". Kostarelos observa que os medicamentos atualmente empregados no tratamento do câncer matam as células cancerosas, mas também muitas células saudáveis. À medida que se conseguir a produção de moléculas com propriedades para identificar e atacar apenas as células cancerosas, a eficácia das terapias minimizará o sofrimento dos

pacientes, o que é um aspecto também muito importante para o sucesso do tratamento.

Esta perspectiva, segundo Kostarelos, também aponta para a utilização de compósitos biossensores e medicamentosos simultaneamente. Os professores Rodrigo Lacerda e Luiz Orlando Ladeira, da UFMG, acreditam que os primeiros produtos dos nanotubos de carbono em biomedicina serão os aplicados a diagnósticos. Lacerda prognostica avanços que permitam a detecção imediata de doenças como a dengue, cujos métodos de exame atuais levam mais de duas semanas para a produção de diagnósticos. Os resultados para a saúde pública parecem óbvios. O trabalho coordenado por Ladeira e Lacerda vem aprofundando seu potencial de aplicações, a partir de parcerias com laboratórios do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG.

Lacerda está testando (*in vivo*), no momento, o biocompósito de nanotubo de carbono com colágeno, desenvolvido no Laboratório de Nanomateriais (Departamento de Física/UFMG), para aplicação em reconstituição óssea. Pelas análises das propriedades mecânicas, térmicas e biológicas, acredita-se que o produto reúne propriedades para substituir o titânio e o pó de hidroxiapatita, materiais mais empregados atualmente na engenharia de tecidos, para reconstituição de peles, cartilagens e ossos.

A NT08

O professor David Tomanek não arrisca uma profecia sobre a NT08. “No próximo ano haverá surpresas. No último ano, pouco sabíamos sobre o Grafeno, não sabíamos sobre os experimentos e aplicações com sangue e sobre [Rodrigo] Lacerda”.

O que já se sabe da NT08 é o que já foi apresentado pelos seus organizadores, Annick Loiseau (LEM, Châtillon), Jean-Louis Sauvajol (LCVN, Montpellier) – da França – e Jean-Christophe Charlier (PCPB, Louvain), da Bélgica.

Montpellier é uma aprazível cidade, com um significativo patrimônio histórico-cultural, boa tradição gastronômica e vinícola. As apresentações tutoriais serão centradas em microscopia eletrônica, fônons e em transporte e dispositivos de elétrons. Já os temas escolhidos para as chamadas conferências satélites são Metrologia, Modelamento e Nanobiologia. Mais informações em www.cnrs-imn.fr/NT08, www.cnrs-imn.fr/GDRE_NanoE e <http://nanotube.msu.edu/nt08>.

No início de sua apresentação, no encerramento na NT07, a professora Dresselhaus provocou, dizendo que os organizadores da NT08 avisavam que dariam maior ênfase aos aspectos científicos fundamentais dos NTCs. A professora Dresselhaus lançou um desafio aos presentes em Ouro Preto: trabalhem com intensidade nestes próximos doze meses.

Se o aviso estivesse impregnado por uma crítica ao momento atual, teríamos com certeza que, além de atender ao desafio, abrir uma *satélite* pós-NT para

acordarmos o que é ciência e o que é tecnologia no contexto da aplicação e da ciência de NTCs em conferência como a NT07.

Os professores Hélio Chacham (UFMG) e Marcos Pimenta, o primeiro, um dos coordenadores da conferência satélite sobre teoria de NTCs (também realizada no Rio de Janeiro), entrevistados em diferentes momentos, concordam que a pesquisa em ciência de nanotubos de carbono “está ficando mais madura” (Chacham). Segundo Pimenta, a pesquisa básica já cumpriu boa parte de seu papel no desvendamento das propriedades dos nanotubos de carbono. O NTC, explica Chacham, “se comporta como um cristal unidimensional. Ao mesmo tempo que é um fio, na escala atômica, ele é perfeitamente periódico, o que lhe confere propriedades únicas em relação a outros materiais”. “Estas propriedades cristalinas são essenciais para que os nanotubos funcionem como sensores – o que permite que se tornem materiais inteligentes (*smart materials*)”. Esta particularidade é também básica para que tenhamos “uma infinidade de tipos de nanotubos, cada qual, com propriedades na escala atômica idênticas às do nanotubo do mesmo tipo, produzido em qualquer lugar que seja”.

Chacham constata que a NT07 é uma conferência fortemente experimental e que se destacou pelo grande número de trabalhos voltados para a tecnologia aplicada à produção. A teoria segue similarmente a tendência de explicar a aplicação dos NTCs.

A ciência que se mostrar em Montpellier, parafraseando o professor Ado Jório, sobre a natureza do trabalho nanométrico, deverá estar portanto *colada* na tecnologia. E algumas tarefas já estão identificadas para ciência que encontrou a natureza unidimensional cristalina e periódica dos NTCs. Precisamos explorar mais (experimental e teoricamente) os “efeitos dos defeitos nas propriedades ópticas e eletrônicas e na estabilidade estrutural” dos NTCs e também a *spintrônica* [a eletrônica dos materiais magnéticos] dos nanotubos, propõe Mildred Dresselhaus, entre outras conclusões.

Colaborou na revisão, do tópico “Eletrônica”, o professor Flávio Plentz (DF-UFMG).

Veja abaixo o quadro apresentado na NT07 pelo professor Pulickel Ajayan

ANEXO
QUADRO APRESENTADO PELO PROF. AJAYAN NA NT07

Aplicações de Nanotubos de Carbono (NTCs): estado da arte		
	<i>Aplicações para produção em larga escala</i>	<i>Aplicações para produção em escala limitada (principalmente baseadas em estruturas manufaturadas de NTCs)</i>
Atualmente	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos para eletrodos de baterias (NTCs de múltiplas paredes - <i>Multi Wall Carbon Nanotube</i> - MWCNT) – Obs.: <i>já necessitam algumas centenas de toneladas</i> • Compósitos (equipamentos esportivos – MWCNT) • Compósitos – Aplicações em ESD (dissipação <i>eletrostática</i> – MWCNT) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pontas de provas para microscopia de varredura (MWCNT) • Aplicações médicas especializadas (catéteres – MWCNT)
A curto prazo (próximos 10 anos)	<ul style="list-style-type: none"> • Eletrodos de baterias e de super-capacitores • Compósitos multifuncionais (tri-dimensionais, amortecimento mecânico) • Eletrodos de células de combustível (suporte catalítico) • Filmes condutores transparentes • Displays de emissores de elétrons / Iluminação • Tintas para Impressão baseadas em NTCs 	<ul style="list-style-type: none"> • Canhões de elétrons de uma ponta • Fontes de Raio-X com arranjos de múltiplas pontas • Sistemas de teste com arranjos de provas • Contatos com escovas de NTCs • Dispositivos sensores de NTCs • Dispositivos de memória eletro-mecânicos • Sistemas de gerenciamento térmicos
A longo prazo (além de 10 anos)	<ul style="list-style-type: none"> • Cabos de transmissão de potência • Compósitos estruturais (aplicações aeroespaciais, automobilísticas etc.) • NTCs em dispositivos foto-voltáicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Nano-eletrônica (FET/transistor de efeito de campo, interconectores) • Componentes eletrônicos flexíveis • Biossensores baseados em NTCs • Membranas de NTCs para filtração e separação • Sistemas de carreamento de drogas

Tradução da Tabela do artigo "Aplicações de Nanotubos", de Endo, Strano e Ajayan, para o livro *Carbon Nanotubes – Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties and Applications...*, ed. por A. Jorio, G. Dresselhaus e M. S. Dresselhaus – no prelo.