

## Parcerias estratégicas em nanotecnologia: a experiência da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

---

*Margareth Spangler Andrade*

A possibilidade de se manipular e controlar, uma a uma, partículas como átomos e moléculas e desta forma criar novos materiais e produtos foi discutida, pela primeira vez, pelo famoso físico Richard P. Feynman (1). Segundo esse visionário das nanociências e nanotecnologias, não se tratava somente de dar continuidade às pesquisas na direção da miniaturização de circuitos ou da fabricação de máquinas diminutas, mas de uma revolução muito maior, conforme descrito nos artigos desta edição da *Parcerias Estratégicas*.

O sucesso da nanociência está intimamente relacionado à aplicação prática dos conhecimentos gerados. Há um forte sinergismo entre a nanotecnologia e a nanociência. Neste sentido, são questões fundamentais:

1. Como acessar o extremamente pequeno?
2. Os materiais nanoestruturados comportam-se como os materiais já conhecidos?
3. Como transportar os materiais, dispositivos e sistemas biológicos, idealizados ou manufaturados em escala de laboratório, para uma escala comercial a custos acessíveis?

Enquanto a última questão nos leva à aplicabilidade comercial da nanotecnologia, a primeira e a segunda estão intrinsecamente relacionadas ao progresso da nanociência.

O presente artigo tem por objetivo relatar as parcerias realizadas por um instituto tecnológico, a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec), visando estar preparado para o vertiginoso avanço da nanociência, bem como incentivar e acelerar o desenvolvimento da nanotecnologia no país e no exterior.

## **Os NOVOS MICROSCÓPIOS**

No estudo de materiais e dispositivos nanoestruturados é óbvia a necessidade do projeto e da fabricação de novos equipamentos, especialmente microscópios cada vez mais potentes, capazes de “enxergarem” e acessarem o que os cientistas planejam pesquisar e construir. Neste aspecto, microscópios já existentes desde a primeira metade do século XX, tais como o microscópio eletrônico de transmissão e o microscópio eletrônico de varredura, sofreram constantes melhorias quanto à sua capacidade de ampliação e resolução. Estes “velhos” microscópios tornaram-se ferramentas bastante úteis no estudo do extremamente pequeno.

Uma nova família de microscópios teve, contudo, influência capital tanto no estudo quanto nas aplicações da nanociência. Trata-se do microscópio de varredura por sonda mecânica, que tem como seus mais proeminentes membros o microscópio de tunelamento e seu irmão mais novo, o microscópio de força atômica (2,3).

Em 1981, cientistas dos laboratórios da IBM, em Zurique, na Suíça, desenvolveram o microscópio de tunelamento e encantaram o mundo com as primeiras imagens, no espaço real, da superfície de um monocristal de silício com resolução atômica (2). Em 1986, Binnig e Rohrer receberam o prêmio Nobel de Física por esse trabalho. Ainda naquele ano foi lançado o Microscópio de Força Atômica (3) e, em 1989, foi fabricada a primeira versão comercial deste microscópio. Desde então, essas técnicas são utilizadas numa ampla variedade de disciplinas, de ciência dos materiais à biologia, produzindo imagens tridimensionais impressionantes – de átomos de carbono a protuberâncias nanométricas na superfície de células vivas.

Os microscópios de varredura por sonda mecânica têm em comum seu modo de operação. Uma sonda mecânica extremamente pequena e fina (por

exemplo, um fio de tungstênio, uma ponta de nitreto de silício) aproxima-se cuidadosamente da superfície da amostra a ser estudada, até que comecem a ocorrer interações entre a ponta da sonda e a superfície da amostra. Todo o processo é controlado por computador e as interações com a sonda são monitoradas gerando imagens digitalizadas da superfície da amostra num monitor de vídeo. Surpreendentemente, a sonda, ao percorrer a superfície da amostra, gera imagens tridimensionais com aumento de até  $10^8$  vezes (dez milhões de vezes) e resolução vertical da ordem de 0,1 nanômetros! Dependendo do tipo de interação – tunelamento, atômica de curto alcance, magnética, elétrica – diferentes tipos de imagens podem ser obtidos da superfície de uma amostra. Detalhes sobre o modo de funcionamento dos microscópios de varredura por sonda mecânica e o tipo de imagens que se pode obter são encontrados nas referências bibliográficas (4, 5).

Além de propiciar a observação de praticamente todos os tipos de materiais em médias e elevadas ampliações, esses microscópios possibilitaram a realização do sonho preconizado por Feynman: a manipulação de átomos. Pesquisadores de alguns institutos de pesquisa conseguiram manipular uns poucos átomos nestes microscópios e confeccionaram pequenos desenhos na superfície de materiais, como a logomarca da IBM ou um mapa simplificado do continente americano. No entanto, é importante destacar que, apesar da grande quantidade de estudos realizados em todo o mundo e dos relevantes avanços obtidos, a fabricação de dispositivos e novos materiais através da manipulação atômica ainda está em nossa imaginação. A previsão dos cientistas para que isto aconteça varia de cinco a 15 anos.

## **O GRUPO DE NANOSCOPIA DO CETEC**

O Cetec é um centro de pesquisas com o objetivo de responder às necessidades de aumento da competitividade das empresas mineiras e do país, por meio da otimização de processos, da melhoria da qualidade de produtos e da redução do comprometimento ambiental decorrente das atividades produtivas. Estas ações são implementadas por meio de atividades de pesquisa, prestação de serviços e difusão tecnológica.

Em 1990, a equipe do Setor de Tecnologia Metalúrgica do Cetec, que se dedica prioritariamente ao estudo de materiais metálicos, percebeu a

necessidade de ampliar sua competência em análises microscópicas, visando manter-se atualizada e capaz de atender demandas futuras no campo da nanotecnologia. Foi elaborado um projeto com o objetivo de implantar o primeiro laboratório do estado em técnicas de microscopia de varredura por sonda mecânica e formar um grupo especializado na utilização destes equipamentos e na interpretação das imagens obtidas. O projeto recebeu financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e, em 1994, começou a funcionar o Laboratório de Nanoscopia do Cetec. Atualmente, este laboratório possui quatro microscópios completos e infra-estrutura para o estudo de diversos tipos de materiais.

Dois pesquisadores do Cetec foram treinados no exterior para trabalhar com os novos microscópios, uma vez que não havia esta competência no Brasil. Receberam treinamento do fabricante do equipamento, a Digital Instruments Inc., em Santa Bárbara, na Califórnia, e de professores americanos na Universidade de Lehigh, em Bethlehem, na Pensilvânia.

Desde o início da implantação do laboratório, houve a preocupação de se trabalhar com um parceiro industrial. A SID Microeletrônica, única fábrica no país que, em 1994, possuía o ciclo completo de processamento de microcircuitos, foi a primeira parceira. A corrida mundial na direção da crescente miniaturização dos microcircuitos e do aumento da escala de produção exigia mudanças contínuas no processo de fabricação da SID. O Laboratório de Nanoscopia do Cetec era adequado para caracterizar morfológicamente os novos dispositivos projetados e confeccionados pela SID e propor, junto com seus engenheiros, ajustes no processo. Utilizando-se a técnica de microscopia de força atômica, medidas micro e nanométricas de componentes, de regiões dopadas, de trilhas de metalização, de máscaras de fotolitografia, entre outras, foram realizadas (6-8). Em consequência desta parceria, mudanças foram implementadas com sucesso na SID Microeletrônica.

Infelizmente, para fazer frente à corrida mundial da microeletrônica, era necessário que algumas etapas do processo de fabricação da SID fossem completamente substituídas. A falta de investimentos na fábrica provocou a paulatina desativação de áreas e o consequente fechamento da unidade de difusão e confecção de microcircuitos.



O grupo de nanoscopia do Cetec adotou, então, procedimentos para divulgar e aplicar estas novas técnicas de análise microestruturais que envolveram contatos com indústrias do Estado de Minas Gerais, potencialmente usuárias, e na formação de pessoal.

O objetivo foi ampliar o mais rapidamente possível o nível de conhecimento de grupos de pesquisa e de indústrias sobre as novas microscopias e identificar outras aplicações.

### **PARCERIAS COM INDÚSTRIAS**

O Cetec tem larga experiência no trabalho conjunto com empresas, especialmente aquelas ligadas ao setor minero-metalúrgico. Dois exemplos de parcerias bem-sucedidas, nas quais as novas técnicas nanoscópicas foram utilizadas, são os da Cia. Siderúrgica Belgo Mineira (Belgo) (9) e da Acesita S.A. (10). Ambas fazem parte, atualmente, do grupo Arcelor.

O principal produto da Belgo (9) são fios de aço alto carbono, utilizados comercialmente na forma de cabos, cordoalhas, tirantes, molas, cordonéis de aço para pneus radiais e outros componentes, cuja característica principal é sua elevada resistência mecânica. Esta resistência mecânica está intimamente associada ao espaçamento entre as duas fases que compõem a microestrutura deste material: o ferro e o carboneto de ferro. Estas fases formam-se como lamelas e dispõem-se sucessivamente no interior do aço. Seguindo a tendência mundial, o espaçamento entre estas lamelas vem diminuindo progressivamente, atingindo dimensões nanométricas, tornando o aço cada vez mais resistente. As mudanças na fabricação e no processamento deste material são quase contínuas, na busca de melhor posição no *ranking* mundial, em termos de qualidade do produto.

Objetivando a melhor caracterização deste aço e o estudo das relações entre suas propriedades mecânicas, composição química e processamento, o Cetec utilizou o microscópio de força atômica para medir o espaçamento entre as duas fases (11). A metodologia de observação e medição das lamelas do aço alto carbono nesse tipo de microscópio foi desenvolvida e uma extensa série de medidas realizadas. Espaçamentos da ordem de 10nm foram observados. Aumentos de até um milhão de vezes foram empregados para visualizar o tamanho e a morfologia das lamelas à medida que eram deformadas mecanicamente.

Este trabalho contribuiu de forma decisiva para a melhor compreensão e controle das propriedades desses aços. Além disso, a metodologia de preparação e observação das amostras deste aço com alto teor de carbono foi repassada para o meio acadêmico e utilizada em uma série de trabalhos de dissertação de mestrado e doutorado da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Ainda, uma estudante de doutorado da Universidade Católica de Louvain (KUL), na Bélgica, veio especialmente ao Brasil para absorver esses conhecimentos. Atualmente, esta doutora trabalha na fábrica da Bekaert/ Bélgica, produtora de cordões de aço para pneus radiais.

Em parceria com a Acesita S.A., o Cetec trabalhou no apoio ao desenvolvimento de três produtos: a) o aço inoxidável colorido; b) um aço inoxidável no qual uma parte do níquel presente em sua composição química foi substituído por cobre; e, c) o aço elétrico ao silício. Nos três casos, a microscopia de força atômica foi utilizada pela primeira vez para a melhor caracterização dos materiais, objetivando gerar novos produtos, melhoria de processos e redução de custos.

O processo de fabricação do aço inoxidável colorido foi desenvolvido pelo Cetec com apoio da Acesita e da Fapemig e, posteriormente, patenteadado e a tecnologia transferida ao setor produtivo. Uma nova fábrica foi montada em Mateus Leme, Minas Gerais, para a produção de chapas de aço inoxidável colorido com a tecnologia desenvolvida: a Inoxcolor-Aços Inoxidáveis Coloridos Ltda (12).

A coloração é feita por meio da deposição eletroquímica de um filme de óxido transparente na superfície do aço, de espessura variando entre 50 e 400 nm. As diversas cores que podem ser geradas – bronze, azul, verde, dourado, preto etc – aparecem por um fenômeno de interferência da luz e variam com a espessura do filme. Diversos aspectos superficiais foram analisados por microscopia de força atômica, buscando relações entre a rugosidade e a porosidade dos filmes e sua resistência à corrosão e ao desgaste. A rugosidade e a porosidade encontradas estão na faixa nanométrica. Os poros medem entre 5 e 15 nm e influenciam marcadamente o comportamento de corrosão e desgaste do produto aço inoxidável + filme de óxido. Os resultados obtidos são de extrema importância para a Inoxcolor, única fábrica da América Latina que atualmente comercializa o aço inoxidável colorido (13).

O desenvolvimento de um novo aço inoxidável com teor de níquel mais baixo teve como meta a expansão do mercado de aços inoxidáveis para estampagem produzidos pela indústria nacional, por meio do aumento da qualidade e da redução do custo de fabricação. O níquel, elemento caro e estratégico, foi substituído em parte por cobre. A pesquisa, financiada pela Finep, e realizada em parceria pelo Cetec, Acesita e a UFMG, atingiu seu objetivo. Neste projeto, as microscopias de força atômica e de força magnética foram utilizadas com êxito na caracterização das fases que aparecem durante o processo de deformação do aço e que influenciam em suas propriedades mecânica e de estampabilidade (14, 15).

No caso do aço elétrico ao silício, a microscopia de força atômica proporcionou a visualização e a medição de precipitados de sulfetos de manganês na faixa de 40 a 100 nm. O controle do tamanho destes precipitados em etapas de fabricação do aço ao silício é de extrema importância para a qualidade do produto final (16).

### **FORMAÇÃO DE PESSOAL**

A formação de pessoal foi, de início, realizada por meio da concessão de bolsas de pós-doutorado, recém-doutor e desenvolvimento tecnológico industrial. As bolsas foram financiadas pela Fapemig e pelo CNPq. Este último, aprovou um programa de capacitação de recém-doutores que foi de fundamental importância na disseminação do conhecimento para egressos de cursos de pós-graduação em física, química, engenharia química e engenharia metalúrgica da UFMG. Um dos bolsistas deste programa é hoje professor do Departamento de Física desta universidade e lá nucleou um grupo de apoio às pesquisas em nanociências. Posteriormente, implantou o segundo laboratório de nanoscopia em Minas Gerais.

Iniciou-se, então, uma segunda etapa de treinamento de pessoal, envolvendo alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado dos cursos de pós-graduação acima citados, que realizavam análises nos equipamentos do Laboratório de Nanoscopia do Cetec e defendiam suas dissertações e teses na UFMG. A parceria com a pós-graduação em física foi especialmente frutífera, com a participação do grupo do Cetec em um Pronex (Núcleo de Excelência em Semicondutores) e um Instituto do Milênio (Instituto de

Nanociências), liderados por professores da física da UFMG e financiados pelo MCT/CNPq (<http://www.fisica.ufmg.br/docs/nanoci/nanoproj.html>).

## **A NANOBIOTECNOLOGIA**

A mais recente parceria realizada pelo Cetec contempla a nanobiotecnologia. As pesquisas da nanociência e da nanotecnologia nas áreas farmacêutica e biomédica apresentaram um importante avanço nas últimas décadas em virtude do potencial de oferecer ao mercado produtos biocompatíveis, bioseletivos e biodegradáveis. Diversos cientistas acreditam que as aplicações de maior sucesso e de menor tempo de incubação da nanotecnologia estão ligadas a nanobiotecnologia. São sistemas que se organizam de forma inteligente e têm capacidade de se multiplicar, solucionando problemas de fabricação comercial dos novos produtos.

São estudados, por exemplo, biopolímeros capazes de se auto-organizar e formarem nanoestruturas, sob a configuração de nanoesferas ou nanocápsulas. Estas nanocápsulas podem agir como vetores capazes de liberar um fármaco no local exato do organismo (*drug delivery*), por períodos de tempo prolongados, alterando a biodistribuição dos princípios ativos a elas associados. Seria possível, por exemplo, uma grande redução da dose administrada com menores efeitos colaterais. Na imunoprofilaxia, avanços têm sido obtidos utilizando sistemas nanoestruturados como veículos de antígenos para indução da resposta imune.

A Rede Mineira de Pesquisas em Nanobiotecnologia envolve pesquisadores de diferentes instituições e formações: biólogos, médicos, farmacêuticos, químicos, cientistas de materiais. Participam da rede o Cetec, a UFMG, a Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop) e a Fundação Ezequiel Dias (Funed). Objetiva-se, prioritariamente, o desenvolvimento de produtos nanobiotecnológicos para o diagnóstico e tratamento de doenças inflamatórias e infecciosas, no tratamento do câncer e de doenças infecciosas e parasitárias, como a leishmaniose, a malária, a esquistossome e a doença de Chagas.

Nessa rede, a microscopia de força atômica está sendo utilizada na caracterização e análise de lipossomas, nanocápsulas, nanoesferas e outros materiais nanoestruturados. Pesquisadores da rede estão sendo treinados para operar os equipamentos do Laboratório de Nanoscopia do Cetec e, juntamente com a equipe

do Centro, desenvolver metodologias e procedimentos de preparação de amostras para estas análises. Os primeiros resultados obtidos mostram-se promissores ao avanço deste vasto e inexplorado campo da nanociência.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Algumas formas de parcerias estratégicas empregadas pelo laboratório de nanoscopia do Cetec, objetivando disseminar e aplicar os conhecimentos adquiridos em técnicas de microscopia de varredura por sonda mecânica, são de extrema importância para o desenvolvimento da nanociência/nanotecnologia, por possibilitarem a obtenção de imagens tridimensionais em escala nanométrica e, ainda, a realização de experiências de manipulação de partículas e atômica. As experiências que o Cetec vem desenvolvendo, e que foram apresentadas neste artigo, mostram que para alavancar e acelerar o desenvolvimento da nanociência, é importante a formação de parcerias com instituições de ensino superior (sob a forma de redes de pesquisas ou de orientação conjunta de mestrandos e doutorandos), indústrias (execução de projetos ou prestação de serviços) e órgãos públicos de financiamento. Investimentos em nanociências por meio destas agências de fomento trarão como conseqüências lucros potenciais e uma economia mais robusta para o Brasil. Finalmente, o caráter interdisciplinar das parcerias é de fundamental importância para ser bem-sucedido no mercado mundial de nanotecnologia.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 FEYNMAN, R. P. *Engineering and science*. [S. l.] : Californian Institute of Technology, 1960.
- 2 BINNIG, G. *et al.* E.; Surface studies by scanning tunneling microscopy. *Phys. Rev. Lett.*, v. 49, p. 57, 1982.
- 3 \_\_\_\_\_; QUATE, C. F.; GERBER, C. Atomic force microscope. *Phys. Rev. Lett.*, v. 56, p. 930, 1986.
- 4 NEVES, B. R. A.; VILELA, J. M. C.; ANDRADE, M. S. Microscopia de varredura por sonda mecânica: uma introdução. *Cerâmica*, v. 44, n. 290, p. 212-219, nov./dez. 1998.

5 ANDRADE, M. S.; VILELA, J. M. C.; GOMES, O. A. Microscopia de varredura por sonda mecânica. *Metalurgia e Materiais - Caderno Técnico*, v. 58, n. 518, p. 123-125, 2002.

6 VILELA, J. M. C. *et al.* Observação de perfis de dopagem em dispositivos semicondutores por microscopia de força atômica. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA E TÉCNICAS ASSOCIADAS À PESQUISA DE MATERIAIS*, 4., 1994, São Carlos, SP. **Anais...** [S. l. : s. n.], 1994. p. 39-42.

7 BRÁZ, I. C. *et al.* Observation of photoresist thermal plastic flow with atomic force microscopy. *In: CONGRESS OF THE BRAZILIAN MICROELECTRONICS SOCIETY*, 10., 1995; *IBERO AMERICAN MICROELECTRONICS CONFERENCE*, 1., 1995. [S. l.], 1995. v. 1, p. 607-615.

8 PETER, C. R. *et al.* Siloxane spin on glass for interlayer dielectric planarization. *In: CONGRESS OF THE BRAZILIAN MICROELECTRONICS SOCIETY*, 10., 1995; *IBERO AMERICAN MICROELECTRONICS CONFERENCE*, 1., 1995. [S. l.], 1995. v. 1, p. 411-421.

9 Disponível em: <<http://www.belgo.com>>.

10 Disponível em: <<http://www.acesita.com.br>>.

11 BUONO, V. T. L. *et al.* Measurement of fine pearlite interlamellar spacing by atomic force microscopy. *Journal of Materials Science*, v. 32, n. 4, p. 1005-1008, Jan. 1997.

12 Disponível em: <<http://www.inoxcolor.com.br>>.

13 JUNQUEIRA, R. M. R. *Caracterização de filmes finos de coloração por interferência em aços inoxidáveis*. 2004. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

- 14 VILELA, J. M. C. *et al.* Análise metalográfica em aço inoxidável austenítico após deformação em diferentes temperaturas. *Metalurgia e Materiais – Engenharia e Aplicações de Materiais*, v. 58, n. 2, p. 25-31, 2002.
- 15 NEVES, B. R. A.; ANDRADE, M. S. Identification of two patterns in magnetic force microscopy of shape memory alloys. *Applied Physics Letters*, v. 74, n. 14, p. 2090-2092, Apr. 1999.
- 16 ANDRADE, M. S. *et al.* Imaging manganese sulfide inclusions in grain oriented silicon steels. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT: BRIDGING THE GAP, 2.*, 1996, Belo Horizonte, MG **Proceedings...** [S. l. : s. n.], 1996. p. 203-207.
- 17 FÓRUM DA REDE MINEIRA DE PESQUISAS EM NANOBIOTECNOLOGIA, 2003, Serra do Cipó, MG. **Anais...** [S. l. : s. n.], 2003.

## **Resumo**

O artigo apresenta algumas formas de parcerias estratégicas empregadas pelo laboratório de nanoscopia do Cetec objetivando disseminar e aplicar os conhecimentos adquiridos em técnicas de microscopia de varredura por sonda mecânica. Estas técnicas são de extrema importância para o desenvolvimento da nanociência/nanotecnologia por possibilitarem a obtenção de imagens tridimensionais em escala nanométrica e, ainda, a realização de experiências de manipulação de partículas e atômica. A experiência do Cetec mostra que, para alavancar e acelerar o desenvolvimento da nanociência, é importante a formação de parcerias com instituições de ensino superior (sob a forma de redes de pesquisas ou de orientação conjunta de mestrandos e doutorandos), indústrias (execução de projetos ou prestação de serviços) e órgãos públicos de financiamento. Investimentos em nanociências por meio destas agências de fomento trarão como conseqüências lucros potenciais e uma economia mais robusta para o Brasil. Finalmente, o caráter interdisciplinar das parcerias é de fundamental importância para ser bem-sucedido no mercado mundial de nanotecnologia.

## **Abstract**

*This paper presents different ways the nanoscopy laboratory of Cetec formed strategic partnerships aiming at applying knowledge related to the scanning probe microscopy. This new type of microscope technique is of utmost relevance to the development of nanoscience and nanotechnology due to its ability to produce three-dimensional nanometric images and it can also be used to do particle and atomic manipulation. The experience of Cetec has proven that in order to produce fast advances related to those challenges of nanoscience it is important to pursue strategic associations with universities (research networks, graduate programs), industries (consulting, research partnerships) and financial public agencies. Investments into nanoscience by financial institutions may lead to profits and a more robust economy for Brazil. Finally, the interdisciplinary characteristics of these partnerships are of fundamental importance to obtain success in the nanotechnology world market.*

## **A Autora**

MARGARETH SPANGLER ANDRADE. Doutora em Ciências Aplicadas pela Universidade Católica de Louvain (Bélgica), é física e mestre em Engenharia de Minas e Metalurgia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É pesquisadora do Setor de Tecnologia Metalúrgica da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec).