

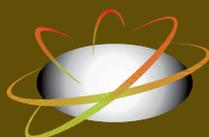


# **NANOTECNOLOGIA OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA E NOVAS QUALIFICAÇÕES PROFISSIONAIS**

n.14

**Ian Miles  
Edson Roberto Leite  
Marcello José Pio (org.)  
Paulo Bastos Tigre (org.)**

Brasília 2010



Modelo SENAI de Prospecção

Série Estudos Tecnológicos e Organizacionais



# **NANOTECNOLOGIA**

## **CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI**

Presidente em Exercício: *Robson Braga de Andrade*

## **SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI**

### **Conselho Nacional**

Presidente em Exercício: *Robson Braga de Andrade*

### **SENAI - Departamento Nacional**

Diretor Geral: *José Manuel de Aguiar Martins*

Diretora de Operações: *Regina Maria de Fátima Torres*



*Confederação Nacional da Indústria  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
Departamento Nacional*

# **NANOTECNOLOGIA OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA E NOVAS QUALIFICAÇÕES PROFISSIONAIS**

n.14

**Ian Miles  
Edson Roberto Leite  
Marcello José Pio (org.)  
Paulo Bastos Tigre (org.)**

Brasília 2010



© 2010. SENAI – Departamento Nacional

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

SENAI/DN

**Unidade de Prospectiva do Trabalho - UNITRAB**

Ficha Catalográfica

---

M643n

Miles, Ian.

Nanotecnologia: oportunidade para a indústria e novas qualificações profissionais / Ian Miles, Edson Roberto Leite; Organizadores Marcello José Pio, Paulo Bastos Tigre. – Brasília: SENAI.DN, 2010.

45p. (Série Estudos Tecnológicos e Organizacionais, n. 14).

ISBN 978-85-7519-428-7

1. Nanotecnologia 2. Qualificações Profissionais I. Leite, Edson Roberto II. Pio, Marcello José III. Tigre, Paulo Bastos IV. Título V. Série

CDU 620.3

---

**SENAI**

Serviço Nacional de  
Aprendizagem Industrial  
Departamento Nacional

**Sede**

Setor Bancário Norte  
Quadra 1 – Bloco C  
Edifício Roberto Simonsen  
70040-903 – Brasília – DF  
Tel.: (0xx61) 3317-9544  
Fax: (0xx61) 3317-9550  
<http://www.senai.br>

# Sumário

## APRESENTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO .....	9
2 NANOTECNOLOGIA: UMA VISÃO GERAL .....	11
3 APLICAÇÕES GERAIS DA NANOTECNOLOGIA.....	15
4 O PROCESSO DE INOVAÇÃO E DIFUSÃO DA NANOTECNOLOGIA E A DEMANDA POR QUALIFICAÇÕES.....	19
5 DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL .....	25
5.1 Indústria Química .....	25
5.2 Indústria Têxtil.....	25
5.3 Indústria de Cosméticos .....	26
5.4 Indústria Automobilística .....	26
5.5 Indústria Petroquímica .....	27
5.6 Agroindústria.....	27
6 EMPRESAS DE NANOTECNOLOGIA NO BRASIL .....	29
6.1 Nanox .....	29
6.2 Orbys .....	30
7 PESQUISAS ACADÊMICAS EM NT.....	31
7.1 São Carlos (SP) .....	31
7.1.1 Universidade Federal de São Carlos.....	31
7.1.2 USP - São Carlos.....	34

7.2 Embrapa . . . . .	34
7.3 USP - São Paulo . . . . .	35
7.4 Unicamp – Campinas . . . . .	36
7.5 Laboratório Nacional de Luz Sincroton – Campinas . . . . .	37
7.6 Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte . . . . .	37
7.7 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Rio Grande do Sul . . . . .	38
7.8 Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro . . . . .	38
8 RECURSOS HUMANOS EM NANOTECNOLOGIA NO BRASIL . . . . .	39
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	41
REFERÊNCIAS . . . . .	43

# APRESENTAÇÃO

Com o intuito de ampliar a visão prospectiva para os principais tomadores de decisão do SENAI, empresas e organizações setoriais, temos o prazer de disponibilizar o estudo *Nanotecnologia: Impactos de uma revolução invisível nas qualificações profissionais*.

O estudo é resultado das atividades de monitoramento de tendências tecnológicas e busca gerar subsídios para o processo de tomada de decisão do SENAI no que tange à formação de novos perfis profissionais devido à inserção da nanotecnologia em diversos setores industriais.

O estudo objetivou apresentar os grandes desafios gerados pelo desenvolvimento de produtos de base nano por meio de suas possibilidades industriais, inovações tecnológicas, mercados nacional e internacional e gargalos produtivos. Além disso, busca identificar o estado da arte dessa área do conhecimento no Brasil.

Espera-se que este estudo possa ser mais um importante instrumento de informação sobre o mercado de trabalho, educação profissional e serviços tecnológicos para empresas e profissionais do setor, entidades representativas de empregadores e de trabalhadores, bem como para a tomada de decisão quanto à formulação de políticas de formação profissional.

*José Manuel de Aguiar Martins*  
Diretor Geral do SENAI/DN



# 1 INTRODUÇÃO

A globalização econômica e o rápido desenvolvimento tecnológico no mundo têm feito com que a produção e o estoque de conhecimentos e informações sejam considerados fundamentais para o aumento de competitividade das nações. Sistemas Nacionais de Inovação mais desenvolvidos estão fortemente apoiados em investimentos nas áreas de educação, ciência e tecnologia e pesquisa e desenvolvimento, as quais estão diretamente associadas à formação de mão de obra especializada. Os sistemas nacionais de inovação bem-estruturados são excelentes instrumentos para aumentar a competitividade dos países. Vale lembrar que esses sistemas englobam um considerável conjunto de atores, incluindo instituições de formação profissional e empresas, as quais são as responsáveis pela absorção do conhecimento gerado e pelo acúmulo de tecnologia.

No Brasil, as nanotecnologias possuem um excelente potencial de utilização em setores industriais, principalmente quando se refere a novos produtos ou a produtos já estabelecidos, mas que agregam novas funcionalidades. Apesar de ter pela frente um grande número de desafios a vencer, o potencial de transferência de conhecimento para aplicações práticas é o alicerce que movimenta os principais projetos de P&D.

São exemplos as aplicações na área de saúde, com o desenvolvimento de biomateriais; na área de meio ambiente, com o desenvolvimento de supermembranas; no setor agropecuário, com o desenvolvimento de novos fertilizantes e produtos químicos; e no setor têxtil, com o desenvolvimento de fibras funcionais, corantes altamente resistentes e produtos químicos que ficam aderidos permanentemente ao tecido.

Em um futuro não muito distante, os setores industriais brasileiros importarão insumos de base nanotecnologia, como já ocorre no setor têxtil, com a utilização de produtos químicos para beneficiamentos de artigos têxteis.

A potencialidade industrial das nanotecnologias é bastante interessante e diversificada. Uma vez que esse campo do conhecimento se encontra em uma fase de construção de “massa crítica” e interliga uma série de campos científicos,

é de grande importância que uma instituição de formação profissional e de serviços técnicos e tecnológicos para a indústria, e altamente multidisciplinar, como o SENAI, possa estar inserida desde o início.

Isto posto, o SENAI deve iniciar um processo de construção de conhecimento interno, o que só acontecerá quando tais iniciativas se tornarem mais frequentes. Isso se justifica pelo tempo gasto até que a curva de aprendizagem alcance o patamar desejável para a formação de futuros profissionais para a “nanomanufatura”.

Sob esse aspecto, deve-se ressaltar que já existe uma considerável preocupação com a formação de futuros profissionais para áreas relevantes à nanotecnologia. Estima-se que um grande número de cientistas, **engenheiros** e **técnicos** será necessário para construir as indústrias de nanotecnologia.

Logo, se o SENAI pretende atender de forma proativa às futuras necessidades da indústria no tocante a produtos de “base nano”, é necessário que inicie já sua base teórico-conceitual, a fim de gerar uma infraestrutura adequada à formação de trabalhadores aptos a lidar com essa nova área de conhecimento humano.

Este documento está estruturado em 9 tópicos. Além desta introdução, o documento apresenta uma visão geral da nanotecnologia (tópico 2), desde conceitos mais simples até possíveis categorizações. No tópico 3, são consideradas as aplicações gerais da nanotecnologia. O processo de inovação e difusão de produtos de base nano e a consequente necessidade de mão de obra qualificada são discutidos no tópico 4. O desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, por meio da aplicação em setores industriais, é mostrado no tópico 5. No tópico 6, constam as principais características das empresas de nanotecnologia no Brasil, enquanto que o tópico 7 relaciona o estado da arte das pesquisas acadêmicas em NT feitas no Brasil. Os recursos humanos em nanotecnologia no Brasil são apresentados no tópico 8. As considerações finais sobre o tema são discorridas no tópico 9.

## 2 NANOTECNOLOGIA: UMA VISÃO GERAL

A nanotecnologia (NT) vem sendo considerada a próxima revolução tecnológica, capaz de suceder, em muitos aspectos, a bem-estabelecida tecnologia da informação (TI) e até mesmo a biotecnologia (BT), que se encontra em processo de revolução. Muitas previsões sobre o futuro da NT, como a construção de nanorrobôs e o desenvolvimento de técnicas de montagem átomo-por-átomo, ainda são, na melhor das hipóteses, promessas de muito longo prazo, diante da complexidade tecnológica e do ceticismo em relação à viabilidade econômica. Mas até mesmo os céticos são passíveis de se impressionarem pela vasta quantidade de desenvolvimentos tecnológicos e aplicações que levam o rótulo NT. Uma crítica usual é que os desenvolvimentos de NT são muito variados para serem classificados como um corpo coerente de conhecimento. De fato, muitas atividades foram reclassificadas como NT para atrair financiamentos, mas as terminologias podem ser outras caso a moda mude. NT envolve controle e reestruturação da matéria em nanoescala – normalmente significando menos de 100 nanômetros. Simplesmente ser capaz de examinar ou medir fenômenos em nanoescala não é em si mesmo NT, pois os maiores desafios estão no controle e transformação dos objetos investigados.

Disciplinas mais tradicionais, como as engenharias mecânica, civil e aeronáutica, trabalham em dimensões de  $\mu\text{m}$  ( $10^{-6}\text{m}$ ) a  $\text{km}$  ( $10^3\text{m}$ ). Já a microeletrônica trabalha de forma confortável com dimensões micrométricas e mais recentemente iniciou-se a busca por dispositivos com dimensões nanométricas. O mesmo ocorre com a biologia molecular. A engenharia de materiais, por sua vez, sempre foi orientada para desenvolver microestruturas, de forma a melhorar o desempenho de ligas metálicas, polímeros e cerâmicas. Mas, sem dúvida, são a química e a física os ramos da ciência mais familiarizados com escalas nanométricas ou mesmo com escala atômica. Dessa forma, não é surpresa que a revolução tecnológica foi iniciada nestas áreas do conhecimento, seguidos rapidamente pela engenharia eletrônica, de materiais e biologia. Essa tendência, que foi mundial, ocorreu também aqui no Brasil, sendo que os grupos acadêmicos mais fortes em nanotecnologia estão em departamentos de física, de química ou de engenharia de materiais e eletrônica.

A nanotecnologia oferece novas abordagens para o desenvolvimento de ampla gama de materiais avançados (MA) e técnicas de produção. Há substâncias desenvolvidas recentemente que são pouco conhecidas, mas com potencial de revolucionar atividades econômicas, como os fulerenos, nanotubos de carbono e metcars (metallocarbono). O avanço da NT reside, em grande parte, na capacidade de aplicar novos processos à produção, modelagem e configuração de novos materiais ou, ainda, de processar materiais usuais de novas formas, permitindo que sejam definidos com maior riqueza de detalhes em níveis nano – e atômicos realmente ou moleculares.<sup>1</sup> Mike Roco (2007), da National Nanotechnology Initiative, dos EUA, identifica quatro gerações no processo de desenvolvimento de NT:

A primeira geração, desenvolvida na virada do século, é formada por “**nanoestruturas passivas**”; tipicamente utilizadas para personalizar propriedades de macroescala e funções. Esses materiais são projetados para executar uma tarefa cujo comportamento específico é estável no tempo, a exemplo das camadas nanoestruturadas, dispersão de nanopartícula e materiais em lote – metais nanoestruturados, polímero e cerâmicas.

A segunda geração – “**nanoestruturas ativas**” – começou a ser desenvolvida no início deste século para produzir efeitos mecânicos, eletrônicos, magnéticos, fotônicos, biológicos, entre outros. São tipicamente integradas em dispositivos de microescala e sistemas. Exemplos incluem novos transistores e componentes de nanoeletrônica, além de CMOS, amplificadores, medicamentos específicos e produtos químicos, atuadores, “músculos” artificiais e estruturas adaptáveis.

A terceira geração – “**sistemas de nanossistemas tridimensionais**” –, iniciada na década de 2010, envolve a interação de milhares de componentes por meio de um conjunto de sínteses e técnicas de montagem como biomontagem, robótica comportamental e abordagens evolutivas. Um desafio-chave associado à construção de tais sistemas é permitir que as redes funcionem em nanoescala, seguindo um projeto de arquiteturas hierárquicas. Roco (2007) menciona algumas áreas de pesquisa que darão suporte a esse desafio: nanoestruturas heterogêneas e engenharia de sistema supramolecular. Isso inclui automontagem dirigida por multiescala, tecidos artificiais e

---

<sup>1</sup> Uma discussão útil deste ponto no contexto de MA é fornecida por (COHENDET *et al.*, 1991).

sistemas sensoriais, interações quânticas dentro de sistemas de nanoescala, processamento de informação usando fótons ou rotação (spin) de elétrons, conjuntos de sistemas eletromecânicos de nanoescala (Nems) e plataformas de tecnologias (nanobioinfocogno) convergentes integradas da nanoescala.

Quarta geração – “**nanossistemas moleculares heterogêneos**”: Estes são vistos como nanossistemas integrados, com sistemas hierárquicos dentro de sistemas (funcionando muito como células de organismos complexos). Cada molécula no nanossistema possui uma estrutura específica e desempenha uma função diferente. As moléculas serão utilizadas como dispositivos: suas estruturas e arquiteturas permitirão, fundamentalmente, novas funções. Isso conduzirá, por exemplo, a máquinas em nanoescala, biologia de nanossistemas para cuidados médicos e novas interfaces homem-máquina nos níveis de tecido e sistema nervoso.

Não parece haver uma “área central” ou uma “tecnologia-chave” em NT, da mesma forma que a microeletrônica tem sido para a tecnologia de informação, ou o sequenciamento/manipulação de gene para a biotecnologia. É possível que alguma tecnologia-chave possa emergir, que uma das técnicas existentes prove ser a base para muitos desenvolvimentos objetivos, mas a diversidade de abordagens para a NT – incluindo microeletrônica, ciência de materiais, biotecnologia, farmacologia etc. – pode tornar isso improvável. No entanto, podemos observar que mesmo no caso da microeletrônica, que constitui um caso óbvio de tecnologia central para a TI, há muitas outras tecnologias relacionadas, algumas complementares (por exemplo, *software*) e outras mais independentes (por exemplo, optrônica e fotônica). Existe uma limitada análise conceitual e empírica para nos contar o quão “justo” o conjunto de tecnologias de base que suportam uma revolução tecnológica necessita ser.

Em todo caso, a nanotransformação é um conjunto de tecnologias com aplicabilidade extremamente ampla. No caso dos materiais avançados (MA), Barker (1990) indica que existe um grande potencial de difusão das novas tecnologias em aplicações industriais e que novos materiais podem representar de 5% a 10% dos materiais utilizados na produção e representar até 60% do custo de fabricação. Atualmente, os materiais avançados constituem pequena proporção do total dos mercados de materiais, o que indica que há um longo caminho a percorrer. Entretanto, sua importância já pode ser sentida em

aplicações específicas, como na indústria aeroespacial, em sensores para a medição de umidade do solo, detecção de bactérias em derivados do leite ou da febre aftosa no rebanho bovino.

Barker (1990) identifica uma série de características que distingue a nova tecnologia dos materiais tradicionais (Tabela 1). Em função de sua abrangência e importância para a indústria moderna, os MA requerem muita atenção por parte de produtores e usuários de vários tipos de materiais. As novas propriedades apresentadas abrem grandes oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos e processos.

**Tabela 1 – Características gerais da nanotecnologia**

- **Informação de Conteúdo:** P&D, processamento e especialidades do projeto têm a maior proporção dos custos totais, energia e matérias-primas são menores.
- **Complexidade:** Maior controle da microestrutura de materiais, assim o material avançado, frequentemente, é constituído por uma série de fases que produzem uma microestrutura desejada com propriedades específicas. Requer conhecimento multidisciplinar.
- **Integração de Função:** Pacote com mais características de desempenho em pequenas áreas e volumes, reduzindo etapas no processo de fabricação.
- **Valor Agregado:** Altos preços unitários relacionados ao conteúdo de informação e nível de processamento exigido.
- **Variedade:** Ampla e diversa gama de materiais, refletindo a variedade de métodos de fabricação e entradas de matéria-prima, e quantidade de conhecimento científico e de engenharia, agora disponível; da mesma forma, o escopo para mais customização para atender às exigências do usuário.
- **Tamanho de Mercado:** Já tendo impacto em quase todos os setores de indústria de fabricação, especialmente nos setores de alta tecnologia, são passíveis de ter efeito multiplicador por toda a economia.
- **Crescimento de Mercado:** Considerando que muitos materiais tradicionais têm mercados maduros ou saturados, os materiais avançados mostram crescimento rápido.
- **Ciclo de Vida:** Aparentemente curto, refletindo concorrência aumentada entre materiais continuamente em evolução e ciclos de vida mais curtos de produtos em que for utilizado.

### 3 APLICAÇÕES GERAIS DA NANOTÉCNOLOGIA

De forma geral, podemos identificar duas tendências de aplicação e desenvolvimento da nanotecnologia no setor industrial. A primeira é o desenvolvimento de uma nova tecnologia, ou de uma tecnologia que possa ser encarada como “divisora de águas”, conhecida na literatura técnica como inovação radical. A segunda é a melhoria de tecnologias atuais, usando conceitos da nanotecnologia, que pode ser definida como inovação incremental.

O desenvolvimento de novas tecnologias baseadas em nanomateriais ou em nanotecnologia visa basicamente substituir produtos atualmente em uso. A ideia principal é desenvolver uma tecnologia completamente nova, sem similar no mercado. Isso permitiria explorar um novo mercado e compensar os altos custos e riscos do desenvolvimento tecnológico.

Exemplos típicos de inovações radicais baseadas em nanotecnologia podem ser vistos em componentes eletrônicos como transistores, baseados em nanotubos de carbono, e nanofios de semicondutores (Si ou Ge). Podemos citar como exemplo um dispositivo eletrônico baseado em nanotecnologia que não emprega materiais e métodos de fabricações tradicionais. Neste setor, cabe destacar ainda pesquisas visando utilizar moléculas orgânicas ou organometálicas para o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos moleculares. Esse tipo de pesquisa demanda grandes investimentos tecnológicos de longo prazo e não tem sucesso garantido.

Já a melhoria de tecnologias atuais baseada em nanotecnologia (inovações incrementais) visa basicamente melhorar o desempenho de produtos já existentes no mercado, simplesmente usando materiais nanométricos que apresentam propriedades diferenciadas. A ideia básica é incorporar esses materiais sem modificar de forma significativa o processo de fabricação do produto. Tal estratégia permite um ganho mais rápido, com menos risco e menores investimentos em P&D do que o desenvolvimento de inovações radicais.

Um exemplo clássico dessa estratégia é o desenvolvimento de nanocompósitos poliméricos, usando nanoargilas como material de reforço. A pesquisa neste setor está atualmente focada na incorporação da carga nanométrica por técnicas de fusão e cisalhamento, basicamente extrusoras de elevado cisalhamento. Outro ponto importante das pesquisas em curso é o desenvolvimento de métodos físico-químicos de purificação de argilominerais naturais. Este tipo de pesquisa demanda investimento menor, além de possibilitar o uso da equipe técnica existente, sem a necessidade de investimentos em recursos humanos. Os riscos envolvidos em projetos desse tipo são baixos e o retorno pode ocorrer em prazo mais curto.

Ainda neste segmento, pode-se destacar o desenvolvimento de novas tecnologias para aplicações em produtos tradicionais. Por exemplo, o desenvolvimento de novos pigmentos para a aplicação em tintas especiais para a indústria automobilística. Para desenvolver o pigmento, foram necessários novos processos (novas técnicas de síntese), sem alterar a aparência do produto final. Este tipo de aplicação visa basicamente reduzir custos. A Tabela 2 apresenta uma lista de aplicações setoriais de NT.

**Tabela 2 – Aplicações da Nanotecnologia****1 MEDICINA**

- 1.1 Diagnósticos
- 1.2 Entrega de medicamento
- 1.3 Engenharia de tecido

**2 QUÍMICA E AMBIENTE**

- 2.1 Catálise
- 2.2 Filtragem

**3 ENERGIA**

- 3.1 Redução no consumo de energia
- 3.2 Aumento da eficiência de produção de energia
- 3.3 O uso de sistemas de energia mais amigáveis ao meio ambiente
- 3.4 Reciclagem de baterias

**4 INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO**

- 4.1 Armazenamento de memória
- 4.2 Dispositivos modernos de semicondutor
- 4.3 Dispositivos optoeletrônicos modernos
- 4.4 Telas
- 4.5 Computadores de quantum

**5 INDÚSTRIA**

- 5.1 Aeroespacial
- 5.2 Construção
- 5.3 Refinarias
- 5.4 Fabricantes de veículos

**6 BENS DE CONSUMO**

- 6.1 Alimentos
- 6.2 Eletrodomésticos
- 6.3 Ótica
- 6.4 Tecidos
- 6.5 Cosméticos

Fonte: WIKIPÉDIA. **Lista de aplicações de nanotecnologia**. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_nanotechnology\\_applications](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nanotechnology_applications)>. Acesso em: 27 mar. 2009.

Vanston e Elliot (2003) desenvolveram um cronograma prospectivo para aplicações da NT que é apresentado na Tabela 3. As tendências nesta prospectiva parecem se referir, em grande parte, a usuários finais. É importante notar o deslocamento esperado de aplicações militares/aeroespaciais de alta tecnologia para aquelas focalizadas em preocupações sociais como saúde e nutrição.

**Tabela 3– Prospectiva de Vanston e Elliot sobre a realização comercial da NT**

Curto prazo (0-3 anos)	Médio prazo (3-5 anos)	Longo prazo (5 anos ou mais)
<b>Oportunidades Comerciais Simples</b>		
Instrumentação, ferramentas e simulação em computador	Instrumentação, ferramentas	Instrumentação, ferramentas
Nanomateriais (metal e nanopós de cerâmica, fulerenos, nanotubos de carbono)	Nanomateriais (metal e nanopós de cerâmica, fulerenos, nanotubos de carbono)	Nanomateriais (metal e nanopós de cerâmica, fulerenos, nanotubos de carbono)
<b>Oportunidades Comerciais Importantes</b>		
-	Ciências da Vida (diagnósticos)	Ciências da Vida (diagnósticos, varreduras e tecnologias de etiquetagem)
-	Dispositivos eletrônicos/ de TI/ ópticos	Nanomateriais “inteligentes”
-	Simulação em computador	-
<b>Grandes Oportunidades Comerciais</b>		
-	Ciências da Vida (entrega de medicamento)	Ciências da Vida (entrega de medicamento, projeto e desenvolvimento)
-	Eletrônica/TI (armazenamento de dados, microprocessadores)	Dispositivos eletrônicos/ de TI/ ópticos (armazenamento de dados, memória, dispositivos ópticos, moleculares e computação de quantum)  NEMS (sistemas nanoeletromecânicos)

Fonte: baseado em (VANSTON; ELLIOT, 2003).

## 4 O PROCESSO DE INOVAÇÃO E DIFUSÃO DA NANOTECNOLOGIA E A DEMANDA POR QUALIFICAÇÕES

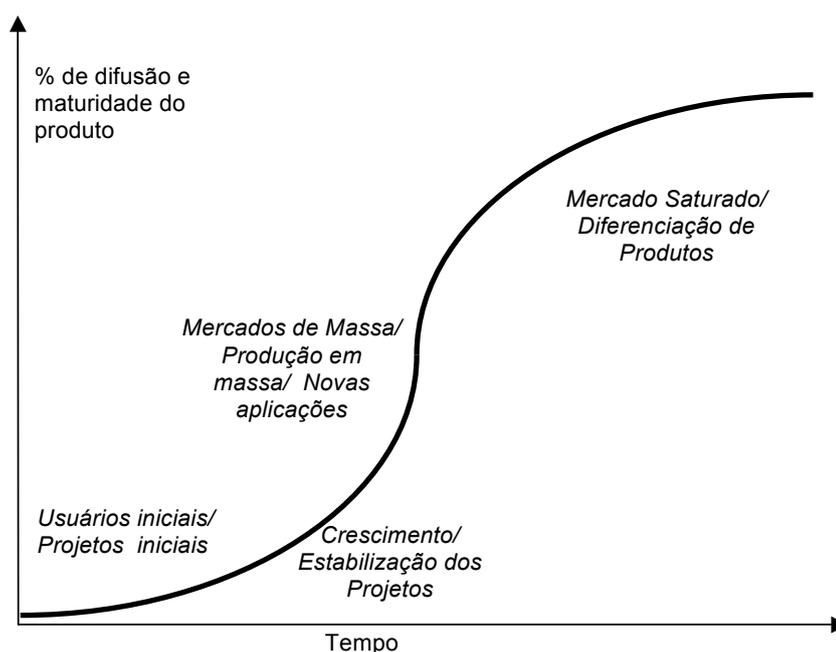
A usual Curva-S de difusão tecnológica foi originalmente introduzida para descrever o padrão de transmissão de uma tecnologia entre indivíduos, regiões ou empresas. Utilizar-se desse modelo para descrever um processo provável de difusão da NT é útil para pensarmos nas implicações para empregos e qualificações. No entanto, o fato da NT ser incorporada potencialmente em muitos tipos diferentes de processos e produtos gera um adicional. Enquanto que na microeletrônica, por exemplo, as pesquisas buscam inferir os impactos de produtos e processos que empregam microprocessadores, ou que são produzidos ou controlados por meio da robótica, a NT constitui um conjunto abrangente de tecnologias cuja difusão em uma ampla gama de setores de atividades é mais difícil de avaliar e prever.

Diante da multidisciplinaridade e abrangência da NT, somente podemos compreender suas exigências de qualificações por meio de análises prospectivas direcionadas para diferentes áreas de aplicação e setores industriais. O primeiro passo nesse sentido seria identificar um conjunto fundamental de aplicações de NT e então buscar compreender em que atividades serão utilizadas, a velocidade provável de difusão no mercado, tipos de empresa mais afetados, dentre outros fatores.

Nesta seção vamos identificar as mudanças tecnológicas em curso na NT que mais afetam setores e processos industriais. Estudos anteriores mostram que a natureza das tecnologias fundamentais está em processo de mutação à medida que o mercado se desenvolve. Por exemplo, na medida em que os projetos se tornam mais padronizados e utilizáveis, ocorre uma inflexão na Curva-S de difusão, ampliando rapidamente sua utilização. Tal modelo não indica diretamente a velocidade do processo de desenvolvimento e difusão em uma área determinada, mas cria expectativas de trajetórias que trazem algumas implicações para qualificações e problemas institucionais relacionados. Por exemplo, poderíamos prever que, nas diferentes etapas da difusão de longo prazo de uma tecnologia, haverá demandas distintas sobre o tipo de

conhecimentos críticos. No início da curva, as atividades de P&D são muito importantes, pois o produto, ou processo, não está estável ou padronizado. Nesse período, o recurso humano crítico são cientistas e engenheiros. Já durante o período de aceleração do crescimento, os requisitos operacionais requerem pessoas capazes de associar o conhecimento tecnológico sobre NT ao domínio de aplicações específicas.

**Figura 1 – Curva S de difusão tecnológica**



Ao longo do tempo, serão necessários mais trabalhadores com conhecimentos menos especializados sobre a tecnologia em si, mas com maior experiência prática em sua aplicação em circunstâncias específicas. Esse modelo permite prever, com alguma antecedência, a formação de novas qualificações profissionais, abrindo espaço para a reconfiguração de cursos de treinamento e para a formação de novas instituições.

O ritmo esperado do processo de difusão da NT nas próximas décadas ainda é muito incerto, tendo em vista as dificuldades atuais de ordem técnica, científica e econômica. Mas caso os principais obstáculos sejam mitigados, o mercado de NT poderá decolar já nos próximos anos. Tim Harper, por exemplo,

prevê que o ritmo de difusão deverá acelerar a partir de 2011 (THE GUARDIAN. Suplemento de Tecnologia, p.1, 26 mar. 2009.). Ele estima que em 2012, apesar da crise econômica, o mercado de nanotecnologia alcançará a casa dos trilhões de dólares, liderado pela indústria farmacêutica e demais produtos médicos. Produtos de nanotecnologia para uso militar deverão obter 14% do mercado total, seguidos da indústria automotiva (4%), de comestíveis (2%) e dos produtos projetados para controlar a poluição. O papel da China em NT será comparável ao da UE e ao dos EUA. No mesmo jornal, Richard Appelbaum (Centro para Nanotecnologia em Sociedade, Universidade da Califórnia) considera que até 2014 cerca de 15% da produção industrial será constituída de produtos de NT. Tais estimativas, entretanto, consideram como NT todos os tipos de nanomateriais, sistemas ou coisas que foram moldadas por dispositivos de NT. Em síntese, tais estudos são muito otimistas em relação ao processo de difusão da NT no futuro próximo.

Em relação às qualificações profissionais necessárias, a situação é ainda pouco clara. Alguns analistas da NT são otimistas quanto ao seu potencial para criação de novos empregos. Roco (2007), com base nas estimativas de produção industrial e na opinião de especialistas acadêmicos, projetou que, em 2015, o mercado de produtos que incorporam nanotecnologia (NT) atingirá US\$ 1 trilhão, envolvendo dois milhões de trabalhadores. Extrapolando a experiência observada no setor de tecnologias da informação, em que para cada emprego direto são criados outros 2,5 empregos em áreas relacionadas, a nanotecnologia tem o potencial de criar sete milhões de empregos até 2015 no mercado global.

Estudos que examinam mais diretamente as exigências específicas de qualificações são baseados em pesquisas sobre tendências profissionais, anúncios de emprego ou mesmo na opinião da indústria.<sup>2</sup> Durante a elaboração do presente estudo, foram localizados dois relatórios com este objetivo. O primeiro (VANSTON; ELLIOT, 2003), que teve por objetivo informar escolas técnicas, dá ênfase às incertezas no desenvolvimento da NT, mas faz previsões bastante otimistas quanto à sua difusão. Em função dessas incertezas, o relatório enfatiza as qualificações básicas que poderiam ser aplicadas em vários campos relacionados à NT. As escolas foram recomendadas a preparar, de forma coordenada, programas de formação profissional, os quais não devem ser

---

<sup>2</sup> Roco (2007) observou que existiam 1.455 empresas de nanotecnologia nos EUA em março de 2005, das quais aproximadamente metade são de pequeno porte, responsáveis pela criação de 23 mil novos empregos.

implementados enquanto a demanda por tais qualificações não fique mais clara. Assim é possível especular sobre alguns padrões de qualificações emergentes. A área considerada como geradora de maiores oportunidades de emprego qualificado no futuro próximo é a de **nanomateriais**, envolvendo supervisão da produção, controle de qualidade, calibração e manutenção de equipamentos, educação dos usuários e capacidade de responder às necessidades dos clientes. Uma área considerada estrategicamente importante, mas que deve envolver relativamente poucos empregos altamente qualificados, é a de **instrumentação, ferramentaria e simulação em computador**.

Em prazo mais longo, haverá demanda de tecnologia **eletrônica, óptica e aplicações de informação**. Neste campo, entretanto, as qualificações podem ser análogas àquelas que vêm sendo desenvolvidas nas TI e não constituirão empregos específicos em NT. As **ciências da vida** requererão qualificações de nível mais alto, o que poderá representar um gargalo. A NT pode causar impactos nas profissões de saúde em geral, exigindo novas qualificações nos diferentes níveis de atividades profissionais. As aplicações de NT em áreas ambientais exigirão conhecimentos de processamento de dados, operação e manutenção de equipamentos e capacitação em gestão. Na prática, as áreas examinadas parecem bastante restritas, mas a abordagem adotada no projeto poderá ser útil quando novas informações sobre a difusão setorial de NT estiverem disponíveis.

Outro relatório sobre os impactos da NT nas exigências específicas de qualificações profissionais (HENDRY, 1999) focalizou três indústrias inovadoras: optoeletrônica, biotecnologia e materiais avançados. Entrevistas e revisões de literatura foram utilizadas para explorar necessidades de qualificações nessas três áreas no Reino Unido e a de materiais avançados (MA) foi considerada a indústria de maior proximidade com a NT, apesar de não necessariamente trabalhar em nível nano. Materiais avançados foram definidos como combinações e laminados de polímeros, cerâmica e metais de alto desempenho. Hendry observou que a difusão de materiais avançados era mais lenta do que o esperado, com produtos dominantes sendo produzidos principalmente por PMEs. Os segmentos de mais rápido crescimento são as indústrias aeroespaciais e automotivas. Ele identifica três conjuntos de qualificações-chave em materiais avançados:

- I) Entendimento fundamental dos materiais específicos pertinentes, com habilidades em síntese, projeto, processamento e fabricação;
- II) Tecnologias genéricas de suporte à infraestrutura como medição ultraprecisa e técnicas de teste, modelagem e simulação;
- III) Qualificação em gerenciamento de projeto e organização apropriada para realizar engenharia simultânea, na qual o projeto de um produto é realizado de forma conjunta com o projeto do processo industrial, em que clientes e fornecedores desde o início são chamados a participar, acelerando assim o ciclo de desenvolvimento de novos produtos.

As exigências de qualificações para engenheiros de materiais estão envoltas nas incertezas do desenvolvimento de aplicações de MA, exigindo uma colaboração muito próxima da indústria com empresas fornecedoras, instituições de pesquisa e clientes. A incerteza sobre aspectos específicos acaba dando suporte às necessidades de *soft skills* descritas por Hendry, tais como criatividade, capacidade de resolução de problemas, proatividade, habilidades de comunicação, consciência empresarial e habilidade para utilizar e integrar diferentes disciplinas. A variedade do desenvolvimento de aplicações requer esta última habilidade, particularmente interdisciplinar ou interprofissional. No mundo de TI, estamos ouvindo a crescente discussão sobre o indivíduo “*T-shaped*”, que combina conhecimento especializado de uma área com uma boa noção da terminologia, princípios e problemas em outras áreas de negócios ou tecnologia.

Em consonância com esta visão interdisciplinar, Kaounides descreve os materiais avançados como

uma ciência que combina física, química, metalurgia, cerâmica, ciências de superfície com fortes interfaces com a matemática, a informática, a metrologia e as engenharias. A separação rígida das diferentes disciplinas está ficando imprópria... as barreiras ou limites entre elas estão começando a se desgastar (KAOUNIDES, 1995, p. 15).

Este amplo reconhecimento da necessidade de combinar conhecimentos e habilidades distintas torna a escassez de qualificações um problema bastante complexo. Frequentemente, as qualificações certas podem existir, mas não necessariamente nas combinações adequadas. Os programas de formação profissional têm muita dificuldade para combinar conhecimentos tecnológicos fundamentais e específicos com as aplicações envolvidas, assim como combiná-los com habilidades para o trabalho cooperativo e para a gestão de projetos. Enquanto a comunidade acadêmica enfatiza o conhecimento interdisciplinar, a indústria busca desenvolver conhecimentos específicos para aplicação em subsetores particulares. As instituições de formação profissional se situam na intercessão entre esses dois produtores de conhecimento e enfrentam dificuldades para balanceá-los. Por exemplo, como saber até que ponto um aprofundado conhecimento específico sobre cada um dos três conjuntos de qualificações descritos acima será necessário para trabalhadores em diferentes níveis. Hendry destacou, por exemplo, a importância de qualificações intermediárias em nível técnico. O sucesso industrial exigirá qualificações em todos os níveis envolvidos e, na medida em que houver um problema, deve-se buscar um equilíbrio ótimo de qualificações.

Generalizando a partir desses estudos, parece plausível sugerir que veremos uma série de curvas-S, já que as aplicações da NT são desenvolvidas e adotadas em setores específicos da indústria. À medida que essas aplicações se desdobram, as exigências profissionais mudarão, recombinação das três classes de habilidades emergentes descritas por Hendry. O conteúdo variará por setores e aplicações em modos relativamente previsíveis, mas o equilíbrio entre os três tipos de qualificações será determinado pelas estratégias organizacionais adotadas. Neste contexto, é importante estar atento ao fato de que a indústria necessita do apoio de fornecedores de serviços intensivos em conhecimento (KIBS<sup>3</sup>) e, ao mesmo tempo, precisa desenvolver internamente um conjunto de qualificações e conhecimentos que permita aplicar conhecimentos produzidos em instituições de ensino e pesquisa.

---

<sup>3</sup> Sigla do termo original em inglês (N.T.).

## 5 DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL

No Brasil, as atividades de P&D em nanotecnologia estão concentradas basicamente na melhoria de produtos atuais, visando melhorar processos e criar usos e mercados. Além do apoio de órgãos governamentais, existe um grande interesse de determinados ramos do setor produtivo em apoiar tais pesquisas, desde que apresentem riscos e investimentos relativamente baixos e que tenham perspectivas de retorno a curto e médio prazos. Por este motivo, a análise da nanotecnologia no setor produtivo será focada na incorporação de nanotecnologia a produtos existentes em determinados setores industriais. Identificaremos também algumas pequenas empresas de base tecnológica, que estão buscando inovações radicais baseadas em nanotecnologia.

### 5.1 Indústria Química

As aplicações da nanotecnologia na indústria química estão concentradas em plásticos e derivados e visam introduzir no mercado produtos baseados em nanocompósitos de matriz polimérica. As atividades de P&D são geralmente dirigidas para o desenvolvimento de poliolefinas (polietileno ou polipropileno) com reforço de cargas nanométricas, principalmente, argilominerais. As pesquisas em curso visam desenvolver novas aplicações para polímeros tradicionais, principalmente em produtos que demandam elevada resistência a solventes, desgaste mecânico e permeabilidade a gases. Nesta área no Brasil, cabe destacar os esforços de P&D das empresas Dow do Brasil e Brasken.

### 5.2 Indústria Têxtil

Neste setor, o grande objetivo é desenvolver tecidos com funções especiais, como tecidos antibactericidas, autolimpantes e antichamas. As aplicações desses tecidos têm potencial em roupas esportivas, tapetes e

estofados. A ideia básica dos projetos em desenvolvimento é incorporar nanopartículas ao tecido, que irão conferir-lhe funções especiais. Por exemplo, a incorporação de nanopartículas de prata (Ag) pode conferir propriedades antibactericidas aos artigos têxteis. Embora o desenvolvimento tecnológico ainda esteja em sua fase inicial, a principal dificuldade enfrentada pelos pioneiros é a falta de fornecedores de nanopartículas de qualidade adequada. Mesmo no mercado externo não existem bons fornecedores de nanopartículas e o custo da matéria-prima é muito elevado.

### 5.3 Indústria de Cosméticos

A indústria de cosméticos vem desenvolvendo, há vários anos, produtos que incorporam nanopartículas, principalmente em protetores solares. Nesta classe de produtos, as nanopartículas de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$  ou titânia) atuam como filtro da radiação ultravioleta (UV). O fator de proteção solar está diretamente relacionado com a concentração de titânia no produto. Porém, a incorporação de nanopartículas em loções ou cremes não é trivial. Não podemos esquecer que o usuário quer um produto que espalhe bem e não uma pasta grosseira. Neste sentido, as pesquisas no setor se contramem aumentar a dispersão da titânia nos produtos. Além disso, muita pesquisa é feita no sentido de modificar a titânia e outros óxidos, visando ampliar a faixa de proteção da radiação UV.

Empresas de cosméticos estão trabalhando no desenvolvimento de nanoemulsões visando obter produtos de maior absorção pela pele. A grande restrição nesta área de pesquisa é prever o impacto dessa maior absorção na saúde do usuário. As principais empresas brasileiras do setor de cosméticos com atividades de P&D em nanotecnologia são a Natura e o Boticário.

### 5.4 Indústria Automobilística

As pesquisas em nanotecnologia neste setor no Brasil estão focadas em autopeças e visam principalmente melhorar o desempenho dos produtos

incorporando conceitos da nanotecnologia. Exemplos típicos de pesquisa nesta área são: desenvolvimento de camadas nanométricas para melhorar a adesão entre materiais diferentes, tais como polímeros e metais; e desenvolvimento de polímeros mais resistentes a solventes e a variações climáticas. Muitas das pesquisas são desenvolvidas no exterior e posteriormente transferidas para as subsidiárias locais. Este é um setor dinâmico em que muitos conceitos de nanotecnologia serão incorporados. Por exemplo, no último Salão do Automóvel a Fiat do Brasil mostrou um carro-conceito em que se utilizaram nanocompósitos em diferentes partes, visando obter uma estrutura mais leve. Cabe ressaltar o esforço das multinacionais em incorporar novas fontes de energia aos automóveis, principalmente a célula a combustível (usando hidrogênio como vetor energético) e o carro elétrico (usando baterias de íons lítio). Estas tecnologias estão ainda restritas a países tecnologicamente avançados como EUA, Alemanha e Japão e sua difusão global depende de políticas ambientais mais rigorosas.

## **5.5 Indústria Petroquímica**

As atividades de P&D em nanotecnologia no setor petroquímico no Brasil estão concentradas na Petrobrás, envolvendo fontes alternativas de energia, novos catalisadores e materiais avançados. Além de contar com um excelente centro de pesquisa próprio (Cenpes), a Petrobrás articula a criação de diferentes redes temáticas voltadas à aplicação da tecnologia na indústria do petróleo. Essas redes temáticas têm a participação de empresas e centros de pesquisas acadêmicos, favorecendo a integração das universidades com o setor produtivo.

## **5.6 Agroindústria**

Existe um imenso potencial de aplicação da nanotecnologia na agroindústria em áreas tão díspares quanto nas de embalagens, nanossensores, fertilizantes e novos alimentos nutracêuticos. As pesquisas atuais têm caráter essencialmente incremental, mas vislumbra-se um potencial revolucionário que exige mais cuidados e certamente mais investimentos. Por exemplo,

a manipulação artificial da matéria na escala das moléculas pode afetar radicalmente a agricultura. O tema vem sendo cada vez mais estudado pelas nanociências, mas os obstáculos não técnicos para seu desenvolvimento e difusão são maiores que aqueles apresentados pela ciência em si, dadas suas repercussões econômicas, sociais, éticas e ambientais.

No Brasil, pesquisas em nanotecnologia aplicadas à agroindústria estão concentradas, sobretudo, na Embrapa, que desenvolve as chamadas “língua” e “nariz” eletrônicos. Estes nanossensores mimetizam o trabalho do homem em tarefas tão díspares como medição da umidade do solo; maturação dos frutos; detecção de bactérias em derivados do leite e de febre aftosa no rebanho bovino. Outras linhas de pesquisa incluem plásticos comestíveis para embalagem de alimentos, nanofibras de celulose a partir do bagaço de cana e nanopartículas magnéticas para a descontaminação de pesticidas na água (VALOR ECONÔMICO, B12, 19 set. 2009).

No setor privado, há um esforço de desenvolvimento de fertilizantes sólidos não solúveis. A ideia básica é utilizar óxidos e carbonatos como fontes de metais necessários para o desenvolvimento de plantas, compostos que fornecem nutrientes de forma mais constante, quando comparados com sólidos solúveis, tais como sulfatos e nitratos. Esta tecnologia atualmente baseia-se em partículas micrométricas, porém a Agrichem do Brasil está pesquisando a viabilidade de se utilizar partículas nanométricas para este fim.

## 6 EMPRESAS DE NANOTECNOLOGIA NO BRASIL

Uma característica marcante da indústria de nanotecnologia no mundo é a existência de pequenas empresas de base tecnológica, originárias de laboratórios de pesquisa universitários, atuando em nichos tecnológicos. No Brasil, essa tendência é observada em menor escala, visto que a fabricação e a negociação de produtos envolvendo nanotecnologia apresentam complexas dificuldades, tornando difícil a autossustentação de pequenas empresas, que acabam dependendo de investimentos governamentais ou de investidores capazes de assumir os riscos do pioneirismo. Duas empresas com origem em laboratórios de universidades que atualmente atuam no segmento de nanotecnologia serão destacadas a seguir.

### 6.1 Nanox

Com sede em São Carlos, a Nanox®Tecnologia S. A. é uma empresa de nanotecnologia que produz e desenvolve soluções com materiais inteligentes (materiais com funcionalidades definidas) para empresas de diferentes setores, tais como: petroquímico, automobilístico, aeronáutico e farmacêutico. Criada em julho de 2004, a Nanox® possui duas outras linhas de negócios, a Nanox®Barrier, de soluções para a conservação de materiais que sofrem processos de corrosão em altas temperaturas, e a Nanox®Solutions, que produz equipamentos para a fabricação de nanopartículas e aplicação de resinas nanoestruturadas. A empresa recebeu em 2007 o prêmio Inovação Tecnológica da Finep.

A criação dos materiais inteligentes que formam os produtos da Nanox® é feita pela manipulação de nanoestruturas e nanopartículas geradas pela abordagem *bottom-up* (construção de estruturas a partir de blocos fundamentais tais como átomos e moléculas), típica da química. A técnica de desenvolver nanopartículas por meios químicos é um diferencial da empresa e permite ganhos de escala com conseqüente economia, tornando algumas tecnologias viáveis do ponto de vista econômico. A empresa já possui uma série de produtos

licenciados por outras empresas, tais como o sistema antibactericidas à base de nanopartículas de Ag e titânia, para aplicação em bebedouros e em ecadores de cabelo. Outro segmento importante da empresa é o desenvolvimento de camadas nanométricas à base de óxidos cerâmicos, visando evitar corrosão e ataque químico.

## 6.2 Orbys

Com sede em São Paulo, a Orbys nasceu em 2003 com o objetivo de identificar oportunidades inovadoras de alto nível tecnológico. É uma empresa voltada para a pesquisa, desenvolvimento e comercialização de materiais de alto desempenho, oferecendo soluções na área de tecnologia em nanocompósitos poliméricos com aplicações nas indústrias de transformação e de artefatos. A Orbys também está envolvida com a prospecção de mercados específicos mediante a produção de marcas próprias, bem como com o desenvolvimento de soluções em nanotecnologia para parceiros industriais, por meio de licenciamento.

O objetivo principal da empresa é o fornecimento para as indústrias de transformação e de artefatos de novos materiais (nanocompósitos), biodegradáveis e atóxicos, produzidos com insumos naturais e que ofereçam condições de competitividade nos segmentos de produtos de alto valor. São várias as técnicas para a produção de nanocompósitos, assim como são muitas as possibilidades de combinações de polímeros orgânicos e compostos inorgânicos nanométricos. Mas a tecnologia Orbys se diferencia por dispensar a etapa de modificação química do mineral inorgânico lamelar, oferecendo a possibilidade de mesclar diferentes polímeros com diversos tipos de minerais lamelares, obtendo-se um amplo leque de aplicações e inúmeros níveis de desempenho dos materiais. Recentemente, a Orbys iniciou o desenvolvimento de nanocompósitos de látex de borracha natural e argila a partir de uma patente da Unicamp.

# 7 PESQUISAS ACADÊMICAS EM NT

Seguindo uma tendência mundial, a nanotecnologia no Brasil nasceu nos laboratórios dos departamentos de Física e Química das principais universidades e também no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). São Carlos-SP, cidade que apresenta o maior número de doutores por habitante do país (120-160 doutores/100 mil habitantes), é destacada como importante centro de pesquisa em nanotecnologia. A seguir, apresentaremos de forma resumida as pesquisas que estão sendo desenvolvidas nas principais instituições brasileiras.

## 7.1 São Carlos (SP)

São Carlos possui duas universidades públicas de excelência: a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e a Universidade de São Paulo (USP). Em ambas as universidades existem grupos de pesquisas com projetos em nanotecnologia, principalmente nas áreas de nanopartículas, catalisadores, metais amorfos, filmes finos e dispositivos eletrônicos. A Embrapa também mantém na região um centro de pesquisa dedicado à aplicação da nanotecnologia à agricultura. A seguir, destacaremos os grupos de pesquisa em cada instituição, bem como as pesquisas em desenvolvimento.

### 7.1.1 Universidade Federal de São Carlos

#### ***A) Departamento de Química***

As pesquisas se concentram, em síntese, na caracterização estrutural e na aplicação de nanomateriais. Pesquisas em síntese de nanopartículas de óxidos cerâmicos estão sendo desenvolvidas, com apoio de órgãos de fomento governamentais, bem como de empresas dos setores privado e estatal. As pesquisas visam desenvolver nanopartículas com tamanho e forma controlada (na faixa de 10 a 2 nm), visando ao desenvolvimento de sensores eletrônicos para detecção de gases, filmes finos condutores e transparentes e materiais para

uso em dispositivos eletroquímicos de energia alternativa, tais como células solares e células a combustível. Estão sendo desenvolvidos novos métodos de síntese, baseados em processo sol-gel, bem como em processos de cristalização via tratamento hidrotermal. Usa-se também síntese assistida por microondas, visando reduzir o tempo e a temperatura de síntese das nanopartículas.

Micrografias eletrônicas de transmissão de cristais nanométricos de óxido de zircônio ( $ZrO_2$ ) são sintetizadas nos laboratórios do Departamento de Química da UFSCar em condições hidrotermais e apresentam um bom controle de forma e tamanho (partículas da ordem de 4 nm). Cabe ainda destacar pesquisas envolvendo novos materiais híbridos inorgânico-orgânico (com suporte financeiro da Dow do Brasil), novos catalisadores (com suporte da Petrobras) e o desenvolvimento de filmes nanoestruturados à base de óxido de ferro para promover a fotoeletrolise da água, visando obter hidrogênio.

O departamento de química da UFSCar conta com uma excelente infraestrutura para pesquisa, com microscópios eletrônicos, laboratórios de síntese e espectroscopias atualizados, além de equipamentos para deposição e caracterização de filmes finos.

### **B) Departamento de Engenharia de Materiais**

As pesquisas estão concentradas em metais amorfos e nanocristalinos, visando principalmente ao desenvolvimento de materiais (principalmente hidretos metálicos) para a estocagem de hidrogênio. Após a preparação dos hidretos, estes são submetidos a um processo de moagem de alta energia, formando assim estruturas nanométricas que possibilitam a estocagem de hidrogênio de forma segura e controlada. Este tipo de tecnologia é estratégico, pois viabiliza o uso de células a combustíveis como motopropulsor em veículos, principalmente em carros. Cabe ainda destacar o desenvolvimento de metais amorfos e nanocristalinos com elevada resistência mecânica e elevado módulo elástico. Este material tem uso estratégico, principalmente em equipamentos aeroespaciais e militares. Os metais amorfos são processados por diferentes técnicas, com destaque para a obtenção de fitas por uma técnica conhecido como "*melt spinning*".

Outro ponto de destaque do departamento de engenharia de materiais é o desenvolvimento de nanocompósitos com matrizes poliméricas e reforço

com argilominerais. Este tipo de material apresenta superior propriedade mecânica, menor permeabilidade a gases e elevada resistência à propagação de chamas. Os materiais à base de argilominerais, tais como montmorilonita e laponita, são nanométricos bidimensionais e possibilitam uma elevada área de interação entre o composto e a matriz polimérica.

A interação entre o polímero e o material inorgânico já se encontra em uso na indústria automobilística e indústria de equipamentos esportivos. O grupo de pesquisa da UFSCar desenvolve tecnologias de processamento desses compósitos, focando o processo de esfoliação dos materiais inorgânicos e intercalação do material polimérico via modificação superficial e processos de elevada taxa de cisalhamento. O grupo estuda também as propriedades mecânicas e de fadiga desses nanocompósitos.

O departamento de engenharia de materiais possui excelente infraestrutura para o desenvolvimento de materiais nanométricos, com laboratórios de síntese e processamento bem equipados, além de um laboratório de caracterização microestrutural e estrutural, equipado com microscópios eletrônicos de resolução atômica. Em 2009, entrou em operação um microscópio eletrônico de transmissão varredura que permite a realização de análise química de regiões nanométricas.

### ***C) Departamento de Engenharia Química***

Neste departamento, as pesquisas estão focadas basicamente no desenvolvimento de catalisadores e materiais mesoporosos, ou seja, materiais com estrutura de poros ordenados com tamanho de poros em escala nanométrica. Em termos de catalisadores, estão sendo pesquisadas novas rotas de síntese para produzir catalisadores para a indústria petroquímica. Cabe destacar o uso de metodologia sol-gel para a preparação de suportes catalíticos com elevada resistência à deposição de carbonos, bem como o desenvolvimento de processos catalíticos heterogêneos, baseados em Zeolitas, para a produção de biodiesel. Em relação aos materiais mesoporosos, cabe destacar o desenvolvimento de rotas de síntese para processar materiais com poros ordenados, similares ao MCM 41, produto comercial utilizado em processos catalíticos em geral.

### 7.1.2 USP - São Carlos

As pesquisas em nanotecnologia na USP de São Carlos estão concentradas nos institutos de Física e de Química. Na Física, as pesquisas estão focadas no desenvolvimento de nanocamadas poliméricas utilizando técnicas de deposição do tipo camada a camada (*layer by layer*). Este tipo de processo permite a deposição controlada de diferentes polímeros e mesmo de nanopartículas, possibilitando assim o desenvolvimento de diferentes dispositivos eletrônicos, tais como sensores químicos e até mesmo diodos emissores de luz. Esta tecnologia está sendo explorada também para desenvolvimento de tecidos antimanchas e antibactericidas. Estão sendo desenvolvidos também polímeros condutores nanoestruturados, tais como nanotubos de poli-pyrrol, decorados com nanopartículas de platina. Este tipo de tecnologia tem aplicação, por exemplo, em novos tipos de células a combustível.

Já no Instituto de Química, as pesquisas em nanotecnologia estão voltadas ao desenvolvimento de catalisadores para aplicação em eletrocatalise, visando desenvolver células a combustível com membranas poliméricas. Foram desenvolvidas várias rotas de preparação e impregnação de catalisadores à base de platina (Pt) e suas ligas. O objetivo principal é o desenvolvimento de catalisadores que não são envenenados por CO e CO<sub>2</sub>. Cabe ainda destacar nesta instituição, o desenvolvimento de técnicas de separação envolvendo processos físico-químicos, visando desenvolver novas técnicas analíticas, principalmente voltadas a compostos biológicos. Neste caso, a nanotecnologia está sendo utilizada para desenvolver sensores e meios de separação. É um caso típico de pesquisa em bionanotecnologia.

## 7.2 Embrapa

A nanotecnologia apresenta um grande potencial de aplicação em áreas interdisciplinares envolvendo ciências aplicadas à agropecuária como química e biologia. Aproveitando este potencial, a Embrapa vem desenvolvendo pesquisas nas áreas de sensores nanoestruturados para a qualidade de águas e produtos agropecuários; membranas de separação para processos agroindustriais; embalagens com controle da nanoestrutura; novos usos de

produtos agropecuários explorando a nanotecnologia; e nanopartículas para liberação controlada de nutrientes e pesticidas em solos.

Os trabalhos resultaram na Rede de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio, composta por 19 unidades da Embrapa e por 17 centros acadêmicos de excelência no país, e no Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio, em São Carlos. A capilaridade do tema já tem permitido novas iniciativas nas áreas de nanocompósitos de polímeros naturais, obtenção de nanopartículas da biomassa, nanocatalisadores para descontaminação ambiental ou produção de biocombustíveis, entre outras. Assim, nota-se que a abrangência do tema permite a inserção da nanotecnologia como diferencial em várias etapas do agronegócio, da produção à comercialização.

Um exemplo de sucesso em pesquisas aplicadas da Embrapa em nanotecnologia foi o desenvolvimento de uma língua eletrônica baseada em sensores de polímeros nanoestruturados, que possibilita avaliar a qualidade de bebidas, tais como vinhos e café. Esta língua eletrônica permite, por exemplo, diferenciar tipos diferentes de vinhos e os sensores desenvolvidos trabalha de forma integrada, possibilitando várias análises de forma simultânea. Outro trabalho de destaque que vem sendo desenvolvido na Embrapa é a criação de fotocatalisadores nanométricos, visando sua utilização em descontaminação ambiental, principalmente na eliminação de compostos orgânicos de elevada toxicidade presente em rios e afluentes.

### **7.3 USP - São Paulo**

Na USP, campus São Paulo, o Instituto de Química vem se destacando no desenvolvimento de sistemas supramoleculares funcionais a partir de porfirinas, porfirazinas, clusters e complexos metálicos, incorporando avanços em nanomateriais híbridos, constituídos por nanopartículas, nanocompósitos e filmes automontados. As pesquisas têm como alvo aplicações em dispositivos moleculares como sensores, células fotoeletroquímicas e eletrocromáticas e portas lógicas.

O controle e manipulação de partículas em dimensões nanoscópicas constituem um novo universo para os químicos. Devido ao seu tamanho, os nanomateriais apresentam propriedades que são diferentes quando os mesmos materiais estão em macroescala, como em uma cinética mais rápida. Uma das pesquisas do Instituto está relacionada ao controle e à manipulação de nanoestruturas e seu comportamento eletroquímico. Outra linha de pesquisa está relacionada ao estudo de blendas poliméricas e polímeros condutores. Essas blendas podem ser utilizadas para a proteção contra a corrosão como tintas inteligentes; isso significa que a blenda polimérica condutora pode passivar um metal quando a dissolução começa. Estão sendo desenvolvidos, também, estudos fundamentais utilizando líquidos iônicos (sais fundidos à temperatura ambiente) para serem utilizados como eletrólito em sistemas eletroquímicos. Cabe-se ainda destacar os estudos voltados para a síntese, caracterização e aplicação de materiais mesoporosos altamente ordenados, obtidos a partir da autoagregação de direcionadores de estrutura supramoleculares. Esses materiais podem ser aplicados para absorção e separação de gases, catalisadores e/ou suportes catalíticos, encapsulamento e liberação controlada de fármacos, dentre outras aplicações.

## 7.4 Unicamp – Campinas

Na universidade, cabe destacar as pesquisas desenvolvidas nos institutos de Química e de Física. No de Química, as pesquisas estão voltadas para o desenvolvimento de nanopartículas semicondutoras e metálicas, bem como de sua funcionalidade. Cabe destacar também as pesquisas na área de nanocompósitos, envolvendo principalmente matrizes poliméricas e reforço de argilas, visando desenvolver materiais de superior propriedade mecânica, baixa permeabilidade a gases e baixa propagação de chamas. Pesquisas envolvendo materiais fotônicos também estão em andamento visando desenvolver novos dispositivos eletrônicos, utilizando como base matrizes vítreas e nanocristais semicondutores. Cabe ainda destacar o desenvolvimento de células solares tipo Graetzel baseado em óxidos semicondutores e em eletrólitos poliméricos sólidos.

Na Física, destacam-se pesquisas em nanomanipulação, bem como o desenvolvimento de estudos básicos envolvendo transporte eletrônico e fios metálicos (como ouro, prata etc.) atômicos.

## **7.5 Laboratório Nacional de Luz Síncrotron – Campinas**

Em 2008, o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), unidade de pesquisa do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), deu mais um importante passo para sua consolidação com a instalação do Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes (C2Nano), que visa estudar as propriedades dos materiais em nível atômico e molecular. Fruto de pesquisas básicas e aplicadas desenvolvidas desde 1999 em micro e nanotecnologia, o C2Nano conta com equipamentos e instrumentação de última geração, que possibilitarão o desenvolvimento de materiais avançados com grande potencial econômico. Linhas de pesquisa com semicondutores e catálise foram beneficiadas com a chegada de novos equipamentos como o microscópio eletrônico de transmissão analítica para nanocaracterização de materiais, que permite identificar os elementos químicos que compõem cada material.

## **7.6 Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte**

As pesquisas em nanotecnologia na UFMG estão centradas principalmente no Instituto de Nanociência. Contando com 66 pesquisadores, o Instituto vem trabalhando nos seguintes tópicos em nanociência: (i) nanotubos de carbono e sistemas análogos; (ii) propriedades magnéticas de materiais nanoestruturados; (iii) compósitos e nanoestruturas orgânico/inorgânicos; (iv) nanoestruturas semicondutoras, supercondutoras e metálicas; e (v) biomoléculas.

Além do instituto, cabe destacar pesquisas realizadas no Laboratório de Nanomateriais, que tem como principais áreas a síntese e a aplicação de diversos tipos de materiais nanoestruturados, em particular, nanotubos de carbono de parede única e de múltiplas paredes.

## **7.7 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Rio Grande do Sul**

No caso do Rio Grande do Sul, cabe destacar pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de nanocatalisadores para a indústria petroquímica e o uso de líquidos iônicos para a síntese de nanocristais. Podem-se destacar pesquisas envolvendo micro e nanoeletrônica, principalmente de semicondutores e filmes multicamadas para dispositivos de memórias baseados no fenômeno de magneto resistência.

## **7.8 Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro**

No Rio, são destaques as pesquisas envolvendo materiais poliméricos e catalisadores, bem como o desenvolvimento de nanotubos de óxidos metálicos para aplicação em fotocatalise e em dispositivos fotovoltaicos. É importante destacar o esforço do Inmetro para implantar um centro de microscopia eletrônica, visando desenvolver técnicas de metrologia e caracterização para aplicação em nanotecnologia.

## 8 RECURSOS HUMANOS EM NANOTECNOLOGIA NO BRASIL

A nanotecnologia é um tema multidisciplinar e complexo, que envolve conceitos fundamentais de física, química, matemática e biologia e conceitos específicos diretamente ligados à aplicação final das tecnologias em desenvolvimento. Por exemplo, um pesquisador que está desenvolvendo um nanomaterial para aplicação em um dispositivo eletrônico, baseado em nanotecnologia, deve ter domínio de química orgânica e inorgânica, química de colóides, física de semicondutores, física quântica e eletrônica básica. Se o dispositivo tiver aplicação biomédica, devemos incluir ainda disciplinas como bioquímica e biologia molecular.

Devido à sua complexidade, a formação de recursos humanos ainda está restrita a programas de pós-graduação. Em nível de graduação, não existe nenhum curso em nanotecnologia ou nanomateriais e a especialização na área ocorre em programas tradicionais. Recentemente, foi criado um programa de pós-graduação específico em nanotecnologia (Pós-graduação em Nanociência e Materiais Avançados) na Universidade Federal do ABC, em Santo André – SP, com proposta multidisciplinar e linhas de pesquisa em materiais funcionais, polímeros e simulação.

Sendo assim, os profissionais que se dedicam ao tema deverão fazer pós-graduação. Esta situação não é uma característica do Brasil, pois somente na Dinamarca existe um curso de graduação em nanotecnologia. O curso foi criado em 2001 na Aarhus University com 35 estudantes, tendo sido ampliado para 60 estudantes em 2003. O curso, com duração de quatro anos, é baseado em disciplinas de física, química, matemática, biologia e biologia molecular. Além da graduação, a universidade oferece doutorado em nanotecnologia. Observa-se que mesmo em um programa focado, o tempo de formação é longo. Para a implantação dos cursos, foi criado um centro de pesquisa (iNano Center) para gerenciar o ensino e a pesquisa nesta área interdisciplinar. A iniciativa teve participação do governo da Dinamarca, bem como de empresas privadas.

A natureza interdisciplinar da nanotecnologia pode abrir oportunidades para novos cursos e carreiras especialmente focados em áreas tecnológicas que demandam especialistas. Um exemplo típico seria a criação do tecnólogo em microscopia. Esta carreira ainda não existe e os profissionais que atuam na área atualmente são físicos ou engenheiros com anos de experiência. O tecnólogo teria uma formação básica em física, matemática e eletrônica e uma formação específica com ênfase em microscopia eletrônica de varredura, microscopia eletrônica de transmissão e microscopia de tunelamento e força atômica. Este é só um exemplo de como a nanotecnologia pode dar espaço ou mesmo criar outras carreiras, devido a demandas específicas.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, as aplicações da nanotecnologia no setor produtivo se concentram na melhoria de produtos existentes, diante dos altos custos e falta de recursos humanos para desenvolver produtos inteiramente novos. Este ponto fica evidente quando consideramos a complexidade envolvida no desenvolvimento de uma tecnologia inovadora. Para isso, é necessário criar e implementar metodologias e ferramentas ainda não existentes, exigindo profissionais altamente qualificados (em geral com título de doutorado) e multidisciplinares. Tais profissionais apenas começam a ser formados na área acadêmica. Sem dúvida, esse é um gargalo importante para a evolução e difusão da nanotecnologia no setor produtivo.

Outro fator que inibe a difusão da nanotecnologia no Brasil é a infraestrutura de P&D necessária para o desenvolvimento. Atualmente, são poucas as empresas que dispõem de laboratórios bem equipados para este fim, mas algumas empresas estão contornando a deficiência utilizando laboratórios das universidades. Esta interação é positiva, porém as empresas precisam investir mais em infraestrutura para obter o domínio de novas tecnologias associadas a materiais nanométricos.

Em síntese, o desenvolvimento de novos produtos e novas tecnologias baseados em materiais nanométricos pela indústria ainda depende da oferta de recursos humanos altamente qualificados e de investimentos em laboratórios de P&D.



# REFERÊNCIAS

BARKER, B. **Engineering Ceramics and High-temperature Superconductivity: two case studies in the innovation and diffusion of new materials.** Manchester: DPhil thesis PREST, 1990.

BELL, D. Twelve Modes of Prediction—a. Preliminary Sorting of Approaches in the Social Sciences. **Daedalus**, v. 93, p. 845-80, 1964.

BENIGER, J. **The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society.** Harvard: Harvard University Press, 1986.

COHENDET, P.; LEDOUX, M. J.; ZUSKOVITCH, E. The Evolution of New Materials: a new dynamic for growth. In: OECD. **Technology and Productivity: the challenge for economic policy.** Paris, 1991.

DAVID, P. A. Computer and Dynamo: the Modern Productivity paradox in a Not-Too-Distant Mirror. In: OECD. **Technology and Productivity: the challenge for economic policy.** Paris, 1991.

FREEMAN, C. **The Economics of Industrial Innovation.** Penguin: Harmondsworth, 1974.

FREEMAN, C.; LOUCA, F. **As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution.** Oxford: Oxford University Press, 2002.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behavior. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Ed.). **Technical Change and Economic Theory.** London: Pinter, 1988. p. 38-66.

GEORGHIOU, L., HARPER, J. Cassingena; KEENAN, M.; MILES, I.; POPPER, R. (Ed.). **The Handbook of Technology Foresight.** Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2008.

HARPER, T. From Micro to Nanoelectronics : Disruption, Convergence or Evolution?. In: EMERGING MARKETS SEMICONDUCTOR APPLICATIONS TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 7, May 2008 Suntec Singapore. **Anais...** Singapura, 2008. Disponível em: <[http://www.semiconsingapore.org/ProgrammesandEvents/cms/groups/public/documents/web\\_content/ctr\\_023570.pdf](http://www.semiconsingapore.org/ProgrammesandEvents/cms/groups/public/documents/web_content/ctr_023570.pdf)>.

HENDRY, C. New Technology Industries. **Skills Task Force Research**, London, Paper 10, 1999.

JORGENSON, D. W.; HO, M. S.; STIROH, K. J. A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence. **Journal of Economic Perspectives**, v. 22, n. 1, p.3-24, 2008.

KAOUNIDES, L. C. **Advanced Materials**. London: Pearson Professional, 1995.

KAPLINSKY, R. **Sustaining Income Growth in a Globalising World: The Search for the N<sup>th</sup> Rent**. Sussex: University of Sussex, Institute of Development Studies, Discussion, 2004. (Paper n. 365).

MILES, I. The Information Society: competing perspectives on the social and economic implications of Information and Communications Technologies. In: DUTTON, W. (Ed.). **Information and Communications Technologies: Visions and Realities**. Oxford: Oxford University Press, 1996.

\_\_\_\_\_. **Information Technology & Information Society: Options for the Future**. London: Economic & Social Research Council, PICT Policy Research, 1988. (Papers n. 2).

NAISBITT, J. **Megatrends**. [s.l]: Warner Books, 1982.

ROCO, M. C. National Nanotechnology Initiative: Past, Present, Future. In: GODDARD III, W.; BRENNER, D.; LYSHEVSKI, S.; IAFRATE, G. **Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology**. 2nd ed. [s.l]: CRC Press, 2007.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 4th ed. New York: Free Press, 1995.

- UTTERBACK, J. M. **Mastering the Dynamics of Innovation**. Harvard: Harvard Business School Press, 1996.
- VANSTON, J; ELLIOT, L. **Nanotechnology: a technology forecast**. Texas: Technology Futures Inc. for Texas State Technology College, Waco, 2003.
- VERNON, R. International Investment and International Trade in the Product Cycle. **Quarterly Journal of Economics**, v. 80, p. 190-207, 1966.
- VONTUNZELMANN, G. N. **Steam Power and British Industrialization to 1860**. Oxford: Clarendon Press, 1978.

**SENAI/DN**

**Unidade de Prospectiva do Trabalho – UNITRAB**

*Luiz Antonio Cruz Caruso*

Gerente-Executivo

*Marcello José Pio*

*Luiz Antônio Cruz Caruso*

Revisão Técnica

*Marcello José Pio*

Organizador

**SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS – SSC**

**Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND**

*Renata Lima*

Normalização

*Maria Clara*

Produção Editorial

---

*Ian Miles*

*Edson Roberto Leite*

Autores

*Paulo Bastos Tigre*

Organizador

*Ana Vilela*

Revisão ortográfica

*EstudioAB*

Diagramação









*Confederação Nacional da Indústria  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
Departamento Nacional*

