

CNI
SENAI

Nanotecnologias

2º U

SÉRIE OCUPAÇÕES EMERGENTES



Modelo SENAI de Prospecção

Brasília
2004

Nanotecnologías

Confederação Nacional da Indústria – CNI e Conselho Nacional do SENAI

Carlos Eduardo Moreira Ferreira
Presidente

SENAI – Departamento Nacional

José Manuel de Aguiar Martins
Diretor-Geral

Regina Maria de Fátima Torres
Diretora de Operações

CNI
SENAI

Confederação Nacional da Indústria
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Nacional

Nanotecnologias

SÉRIE OCUPAÇÕES EMERGENTES



Modelo SENAI de Prospecção

Brasília
2004

© 2004. SENAI – Departamento Nacional

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

SENAI/DN

UNITEP – Unidade de Tendências e Prospecção

Este documento foi elaborado por uma equipe, cujos nomes encontram-se relacionados na folha de créditos.

Ficha Catalográfica

S491n

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Departamento Nacional. **Nanotecnologias**. Brasília: SENAI/DN, 2004
46 p. (Série Ocupações Emergentes, 1).

ISBN 85-7519-106-3

1 Tecnologia Mecânica. 2 Nanotecnologias. I Título

CDU 621.7

SENAI

Serviço Nacional de
Aprendizagem Industrial
Departamento Nacional

Sede

Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel.: (61) 317-9001
Fax: (61) 317-9190
<http://www.dn.senai.br>

Sumário

Apresentação	
1 Introdução	9
2 Metodologia	11
3 Contexto Histórico	13
4 Conceitos	15
5 Aplicações	19
6 Atuais Desenvolvimentos	25
7 Principais Desafios	27
8 Impactos	31
8.1 Benefícios e Riscos	31
8.2 Nanotecnologias e Educação	35
8.3 Nanotecnologias e Trabalho	39
9 Conclusões	43
9 Referências	73

Apresentação

Dando continuidade à divulgação da Série Ocupações Emergentes, temos a satisfação de disponibilizar o estudo sobre nanotecnologia, cujo foco se concentra no desenvolvimento dessa nova área de conhecimento científico e tecnológico.

O estudo se concentra na exploração da origem, conceitos, aplicações, desafios, impactos e atuais desenvolvimentos em nanotecnologia, uma área que se caracteriza como sendo bastante inovadora encontrando-se ainda em um estágio recente de evolução.

A metodologia do estudo utilizou uma extensa pesquisa bibliográfica e uma análise, comparação e compilação de dados secundários de órgãos governamentais, instituições de pesquisa e ensino de diversos países.

Espera-se que esse estudo possa ser mais um importante instrumento de informação sobre o mundo do trabalho e da educação, servindo como instrumento para a tomada de decisões quanto à formulação de políticas de educação profissional e de mercado de trabalho.

José Manuel de Aguiar Martins
Diretor-Geral do SENAI-DN

1 Introdução

A tendência à miniaturização de componentes, observada principalmente na eletrônica, através da fabricação em massa de produtos complexos com recursos, tamanho e custo cada vez menores, vem aproximando as indústrias de manufatura e o domínio dos átomos e moléculas. Neste domínio as nanotecnologias prometem revolucionar os mais diversos materiais, produtos e sistemas, bem como suas formas de fabricação.

As nanotecnologias resultam da convergência de diversos estudos e pesquisas, principalmente nas áreas de química, física, biologia, ciência de materiais, medicina, engenharia e computação. Compreendem as capacidades de medir, manusear e organizar a matéria em nanoescala e vêm sendo consideradas direcionadoras das ciências e tecnologias neste século.

Em nanoescala, o nanômetro, que equivale a um bilionésimo de metro, é a unidade de medida básica. Nessa escala a matéria apresenta propriedades, fenômenos e processos únicos. Estes aspectos, qualitativamente aprimorados devido ao confinamento de átomos em nanoestruturas, contribuirão para desenvolvimentos inovadores em muitos setores econômicos.

Entre alguns dos mais importantes produtos das nanotecnologias estão os materiais nanoestruturados, mais leves e resistentes, que deverão reduzir o consumo de combustíveis e o custo de viagens aeroespaciais. Estruturas biológicas nanoestruturadas interagirão diretamente com sistemas biológicos para investigar a eficácia de medicamentos e implantes ou a regeneração de tecidos. Nanocomputadores realizarão processamentos cerca de um milhão de vezes mais rápido do que os atuais computadores.

Um dos grandes desafios das nanotecnologias, em seu atual estágio de

desenvolvimento, compreende o controle das características da matéria em nanoescala. À medida que se adquirem novos conhecimentos, busca-se vencer esse desafio. Novas descobertas começam a liderar transformações na forma como materiais, dispositivos e sistemas são compreendidos e criados, mas a maioria dos projetos ainda são restritos a atividades de pesquisa básicas.

Os maiores desenvolvimentos em nanotecnologia concentram-se na área de estruturas básicas. Essas estruturas, que deverão servir como insumos para a fabricação de materiais, vêm sendo produzidas com um certo controle. Apesar de sua relativa expressividade, tais estruturas constituem os primeiros passos concretos para a abertura de um campo promissor.

Futuras aplicações, em quase todos os setores econômicos, reforçam a importância das nanotecnologias. Nesse sentido, este documento compreende uma análise exploratória desse novo campo tecnológico, partindo de uma visão geral de seus conceitos, aplicações, desafios e impactos.

2 Metodologia

Este estudo tem como objetivo desenvolver uma análise exploratória do campo das nanotecnologias. Por se tratar de uma área inovadora e que praticamente ainda não rompeu os limites da fase de pesquisas básicas, a estrutura deste trabalho será bastante simples, de forma a possibilitar uma melhor compreensão dos cenários atual e futuro.

Em primeiro lugar, procederemos a uma contextualização do tema, compreendendo a origem, os conceitos, as aplicações e os atuais desenvolvimentos em nanotecnologias. A partir dessa contextualização, apresentaremos os impactos das nanotecnologias em termos dos benefícios e riscos de sua utilização e, em especial, de sua importância para os setores de educação e trabalho.

A metodologia de desenvolvimento deste estudo envolveu uma extensa pesquisa bibliográfica, seguida de análise, comparação e compilação de dados secundários. Esses dados são disponibilizados por órgãos governamentais e instituições de pesquisa e ensino de diversos países que vêm dedicando recursos ao desenvolvimento de nanotecnologias.

3 Contexto Histórico

A origem do estudo das nanotecnologias é atribuída ao físico Richard Feynman. Em seu discurso para a Sociedade de Física Americana, em 1959, Feynman utilizou como exemplo a possibilidade de armazenar todas as informações da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete e sugeriu que, algum dia, seria possível fabricar materiais e dispositivos de acordo com as especificações de seus átomos.

Embora o discurso de Feynman seja referenciado como o primeiro debate sobre nanotecnologias, este termo só veio a ser criado mais tarde. Em 1974, Norio Taniguchi, pesquisador da Universidade de Tóquio, diferenciou a engenharia nos domínios da microescala, que compreende microtecnologias, de um novo domínio em submicroescala, que denominou *nanotecnologia*.

A primeira publicação acadêmica sobre nanotecnologias surgiu em 1981. O artigo denominado “Protein Design as a Pathway to Molecular Manufacturing” foi publicado no jornal da Academia Nacional de Ciências dos EUA por Eric Drexler, que na época era professor da Universidade de Stanford, na Califórnia. O propósito de Drexler consistiu em demonstrar, baseando-se em moléculas de sistemas vivos, a possibilidade de utilização da engenharia molecular para produzir estruturas moleculares artificiais.

Drexler escreveu outros artigos e livros sobre nanotecnologias, entre os quais, “Engines of Creation”, de 1986, e “Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution”, de 1991. Atualmente, suas publicações são consideradas recursos fundamentais para uma introdução geral a esse novo campo do conhecimento e para a compreensão dos benefícios e impactos de suas aplicações.

No início dos anos 80, a invenção de novos microscópios contribuiu para que desenvolvimentos em nanotecnologias se transformassem em realidade. Duas novas técnicas de microscopia – a AFM (atomic force microscopy) e a STM

(scanning tunneling microscopy) – substituíram as anteriores, que eram baseadas em fenômenos ópticos envolvendo luz (microscópio óptico) e feixes de elétrons (microscópio eletrônico). A construção de microscópios a partir dessas novas técnicas possibilitou a observação e manipulação de moléculas e átomos. Antes disso, somente o microscópio eletrônico de transmissão de maior potência permitia visualizar átomos.

Em 1985, pesquisadores da Universidade de Rice, no Texas, realizaram a primeira descoberta significativa em nanotecnologia. Ao vaporizar o carbono e monitorar sua condensação em forma de gás inerte, a equipe de pesquisas liderada pelos professores Richard Smalley e Bob Curl observou a formação de cristais altamente estáveis, compostos, cada um, por sessenta átomos. Essa estrutura foi denominada carbono 60 ou “buckball”.

Entre os atuais desenvolvimentos em nanotecnologia, o aprimoramento do trabalho de Richard Smalley e Bob Curl é uma das mais significativas realizações. Trata-se da fabricação de nanotubos de carbono, com largura equivalente a um bilionésimo de metro, cerca de cem vezes mais resistentes e um sexto mais leves do que o aço. Esses nanotubos são melhores condutores de eletricidade do que o cobre e são extremamente compactos, de forma que um nanotubo com extensão suficiente para atingir a lua pode ser dobrado em cerca de um terço do tamanho de um lápis.

Outro importante desenvolvimento consiste na litografia através de feixes de elétrons. Esse tipo de litografia utiliza um feixe de elétrons que, emitido através de um microscópio especial, permite gravar detalhes cujo tamanho equivale a uns poucos nanômetros.

Grande parte dos atuais projetos em nanotecnologia ainda encontra-se em fase de pesquisa básica. Estima-se que, num futuro próximo, esses projetos possam beneficiar diversos setores econômicos, revolucionando a composição e a forma de fabricação de materiais e produtos.

4 Conceitos

O termo nanotecnologia molecular, ou simplesmente nanotecnologia, compreende o controle da estrutura da matéria. Especificamente, as nanotecnologias são um conjunto de tecnologias que permitem trabalhar em nível molecular, ou seja, átomo por átomo, para criar estruturas com uma nova organização molecular. A premissa central dessas tecnologias baseia-se no fundamento de que quase toda estrutura quimicamente estável, que não é anulada pelas leis da física, pode ser construída.

A palavra “nano” significa um bilionésimo, de forma que um nanômetro corresponde a um bilionésimo de metro. Materiais e sistemas cujas estruturas e componentes exibem propriedades físicas, químicas e biológicas e fenômenos e processos aprimorados devido ao seu tamanho “nano” são objeto de interesse das nanotecnologias. Explorar as propriedades desses materiais e sistemas, através do controle de suas estruturas em nível atômico, molecular e supramolecular, e aprender como manufaturá-los e utilizá-los, bem como manter sua estabilidade e integração em nanoestruturas, nas escalas micro e macroscópicas, são os atuais desafios das nanotecnologias.

O comportamento de materiais e sistemas em nanoescala não é necessariamente previsível a partir do comportamento observado em escalas maiores. Um exemplo disso é que mais de 31 propriedades físicas são alteradas em função da redução de tamanho, entre as quais: resistência, dureza, condutividade térmica e tempo de vida útil. Através do controle do tamanho, questão-chave das nanotecnologias, espera-se aprimorar as propriedades e funções de materiais numa extensão muito além da que é atualmente conhecida ou considerada viável.

As nanoestruturas possuem pelo menos três propriedades que, segundo estimativas, poderão gerar muitas questões relativas à segurança e constituir

desafios para a formulação de políticas: a invisibilidade, a microlocomoção e a auto-replicação. A invisibilidade é uma propriedade inerente aos objetos em nanoescala, que independe do caráter natural ou artificial destes. As nanoestruturas artificiais representam uma das primeiras construções de maior complexidade projetadas para atuar em nível microscópico ou submicroscópico. A introdução de nanoestruturas em certas tecnologias poderá, por exemplo, contribuir para aumentar as atividades de espionagem.

A propriedade de microlocomoção, ao contrário da invisibilidade, pode não estar disponível para todas as nanoestruturas. Nanoestruturas com essa propriedade serão vantajosas na realização de atividades que requerem a mobilidade, transformando os conceitos de limites e barreiras. Cercas, paredes e tecidos humanos, como, por exemplo, a pele, são espaços abertos em nanoescala.

A auto-replicação é considerada uma propriedade cujo desenvolvimento é fundamental para viabilizar a produção de nanoestruturas complexas em quantidades comercializáveis. Comum a todas as nanoestruturas, a auto-replicação deverá reduzir custos de produção, mas, ao mesmo tempo, deverá impor um grande desafio, relativo ao seu próprio controle. Sem os ajustes adequados, uma população de nanoestruturas com a propriedade de auto-replicação poderá crescer exponencialmente.

O controle da matéria em nanoescala vem sendo pesquisado em diversas áreas, tais como química, física, ciência de materiais, biologia, medicina, engenharia e ciência da computação. Entre os resultados das pesquisas está o desenvolvimento de nanotubos de carbono, que são mais resistentes que o aço. Desde que se possa descobrir e utilizar seus princípios, a conformação de novos materiais promete revolucionar as ciências e tecnologias.

Atualmente as nanotecnologias são classificadas em duas áreas: “top-down” e “bottom-up”. Nanotecnologias “top-down” dedicam-se à fabricação de estruturas em nanoescala, com a utilização de máquinas e ferramentas. Nanotecnologias

“bottom-up” dedicam-se à conformação de estruturas orgânicas e inorgânicas, átomo por átomo ou molécula por molécula. Essa segmentação também pode ser utilizada como medida do desenvolvimento de nanotecnologias. Atualmente, a maior parte dos desenvolvimentos em nanotecnologias concentra-se na área “top-down”.

Sob a perspectiva acadêmica, as nanotecnologias podem ser classificadas em três áreas de pesquisa: “wet”, “dry” e computacional. As nanotecnologias “wet” concentram-se em pesquisas com sistemas biológicos aquáticos. Nesta área, as nanoestruturas funcionais de interesse compreendem membranas, material genético, enzimas e demais componentes celulares. Seu desenvolvimento é considerado muito importante, porque parte do estudo de organismos vivos cujas formas, funções e evolução são regidas por interações de estruturas em nanoescala.

As nanotecnologias “dry” fundamentam-se na química e na física e concentram-se na fabricação de estruturas de carbono, silício e outros materiais inorgânicos. Estas nanotecnologias utilizam metais e semicondutores. Os elétrons desses materiais possuem propriedades físicas para conformar nanoestruturas de dispositivos eletrônicos, magnéticos e óticos. As nanotecnologias “dry” também têm o objetivo de possibilitar o desenvolvimento de estruturas que possuam a mesma característica de autoconstrução das nanoestruturas originadas a partir das nanotecnologias “wet”.

A área de nanotecnologias computacionais envolve a modelagem e simulação de nanoestruturas complexas que futuramente poderão ser utilizadas na manufatura de computadores. Com a ajuda de nanocomputadores, espera-se reduzir o tempo gasto em novos desenvolvimentos a partir de nanotecnologias “dry” e “wet”.

Um dos principais objetivos das nanotecnologias consiste em fabricar nanoestruturas e produtos de forma econômica. Para reduzir custos de manufatura, novas pesquisas baseiam-se no desenvolvimento de mecanismos que possam

incorporar as propriedades de auto-replicação e automontagem à construção de nanoestruturas.

Auto-replicação é a capacidade que certos sistemas ou elementos possuem de fazer cópias de si próprios. Atualmente vêm sendo desenvolvidos projetos de moléculas com a capacidade de se reorganizarem automaticamente, de acordo com um determinado padrão ou dispositivo, tomando como base o DNA. Considerado um modelo perfeito de mecanismo auto-replicável, o DNA cria réplicas de si próprio e de organismos complexos.

Automontagem compreende a capacidade de dispor moléculas exatas em locais precisos. O estudo da característica natural de automontagem de moléculas vem conformando a base de muitos desenvolvimentos em nanotecnologias. O comportamento de pequenas quantidades de moléculas com tal característica depende muito da forma pela qual essas moléculas são presas a uma superfície. As forças da superfície predominam em grupos pequenos ou em camadas finas. Isso significa que nanocomponentes podem ser mais facilmente moldados de acordo com a superfície.

Antes que as nanoestruturas possam sair de laboratórios para a fabricação em linhas de montagem, faz-se necessário encontrar meios eficientes para sua organização em dispositivos mais complexos e com maior utilidade. Estima-se que a construção e o aprimoramento de mecanismos de automontagem, em conjunto com a auto-replicação, possam impulsionar novos desenvolvimentos em nanotecnologias. Nesse contexto, em que diversas pesquisas são desenvolvidas e novas informações e conhecimentos são adquiridos, muitos outros conceitos ainda devem ser incorporados ao campo das nanotecnologias.

5 Aplicações

As nanotecnologias podem ser aplicadas em diversas áreas. O confinamento de átomos em nanoescala modifica radicalmente as propriedades dos materiais, permitindo reestruturar ou fabricar inúmeros produtos. Por exemplo, sistemas em nanoescala têm o potencial de aumentar a eficiência de computadores em cerca de um milhão de vezes e de distribuir medicamentos através do corpo humano de forma extremamente precisa.

Apesar do grande potencial das nanotecnologias, antes que seus produtos possam ser comercializados em larga escala, há muitos desafios a serem vencidos. Entre eles destaca-se a redução dos custos de manufatura. Estima-se que os custos de manufatura de derivados de nanotecnologias poderão ser reduzidos quando for possível determinar e controlar as propriedades de materiais em nanoescala. Essa descoberta poderá estimular a invenção de produtos ainda não imaginados e beneficiará vários setores, entre os quais os de saúde, meio ambiente, agropecuária, transportes, informática e comunicações, educação e governamental.

Nanotecnologias no Setor de Saúde

Um dos principais objetivos das nanotecnologias consiste em dominar a capacidade de construir sistemas idênticos aos que são criados pela natureza. Os biomateriais constituem um dos mais significativos desenvolvimentos com esse objetivo. Compostos por estruturas moleculares em nanoescala, os biomateriais têm a capacidade de interagir com sistemas biológicos, desempenhando as mesmas funções de mecanismos naturais. Assim, esses materiais poderão ser utilizados na conformação de vários componentes biomédicos, tais como vasos sanguíneos, pele e órgãos artificiais, curativos inteligentes, dispositivos para visão e audição e sistemas de distribuição de medicamentos que podem ser implantados sob a pele.

Outras pesquisas com a aplicação de nanotecnologias no setor de saúde envolvem o desenvolvimento de tecnologias sensoriais. Projetadas e otimizadas em nanoescala, as tecnologias sensoriais têm o objetivo de aumentar a eficiência do seqüenciamento de genes e dos diagnósticos, contribuindo para revolucionar a medicina, através da detecção e prevenção de doenças em estágios iniciais.

Nanotecnologias no Setor de Meio Ambiente

No setor de meio ambiente, pesquisas que envolvem nanotecnologias concentram-se principalmente na produção de agentes de limpeza, descontaminação e purificação e de nanoestruturas com a finalidade de reduzir o consumo de energia. Agentes descontaminantes, formados por materiais compatíveis com organismos e tecidos biológicos, poderão ser aplicados à remoção de minúsculos componentes poluentes, favorecendo a recuperação de solos e efluentes contaminados e reduzindo a poluição do ar. Atualmente, encontram-se em fase de testes dispositivos de dessalinização de águas. Tais dispositivos foram projetados para consumir dez vezes menos energia do que a utilizada em dessalinização por osmose e cem vezes menos do que a necessária no processo de dessalinização através de destilação.

Nanoestruturas poderão ser utilizadas para aumentar a eficiência de armazenamento e produção de energia, bem como para reduzir seu consumo. Por exemplo: nanotubos poderão armazenar hidrogênio, formando células combustíveis de alta eficiência; componentes baseados em nanoestruturas permitirão reduzir o consumo de gasolina em automóveis; e dispositivos nanoestruturados para iluminação permitirão reduzir o consumo de energia elétrica.

Outra importante aplicação das nanotecnologias na área de meio ambiente diz respeito à geração de energia renovável, por meio do aprimoramento de células fotovoltaicas. Essas células têm a capacidade de converter energia solar em energia elétrica, e atualmente são produzidas a partir de silicone. Novas pesquisas vêm

substituindo o silicone por películas de óxido metálico com nanoporos. Esse processo de fabricação, atualmente em desenvolvimento, vem atraindo a atenção de muitos fabricantes devido ao seu potencial de redução de custos.

Nanotecnologias no Setor de Agropecuária

No setor de agropecuária, as nanotecnologias poderão contribuir para aprimorar cultivos e criações de animais. Fertilizantes e produtos químicos constituídos por nanopartículas biodegradáveis protegerão cultivos contra infestações. Nanotecnologias sensoriais facilitarão a administração de medicamentos para a prevenção e controle de doenças em animais e poderão detectar a presença de pesticidas e de agentes contaminantes em cultivos, além de serem utilizadas para o aprimoramento genético de animais e vegetais.

Nanotecnologias no Setor de Transportes

No setor de transportes, as nanotecnologias deverão beneficiar principalmente as indústrias automobilística e aeroespacial. Materiais nanoestruturados, por serem mais leves e resistentes, poderão ser utilizados para melhorar o desempenho de motores e reduzir o consumo de combustíveis. Nanodispositivos sensoriais medirão o desgaste e a abrasão de partes e componentes de veículos. Sistemas de posicionamento global nanoeletrônicos poderão tornar-se acessórios comuns. Aditivos, construídos a partir de nanomoléculas, devem aprimorar a lubrificação de motores e peças. Sistemas de controle de direção poderão guiar automóveis automaticamente e diminuir sua velocidade em condições perigosas, evitando colisões.

Outras aplicações das nanotecnologias no setor automobilístico abrangem: partes de motores fabricadas com nanoestruturas de compostos cerâmicos, peças em plástico nanoestruturado, nanoflúidos magnéticos para amortecedores e tintas

para a linha automotiva. Fabricadas a partir de nanopartículas, essas tintas serão utilizadas no acabamento em superfícies de veículos, conferindo-lhes maior durabilidade.

A indústria aeroespacial deverá se beneficiar muito do desenvolvimento de materiais nanoestruturados. Partículas bastante finas podem produzir materiais de grande densidade e com propriedades mecânicas aprimoradas. Esses materiais permitirão projetar e fabricar componentes extremamente leves, resistentes a impactos e grandes variações de temperatura, para utilização em aviões, foguetes, estações orbitais e dispositivos para exploração espacial.

Nanotecnologias nos Setores de Informática e Comunicações

Nanotubos de carbono apresentam grande condutividade e resistência e podem ser moldados segundo várias formas, tamanhos e propriedades elétricas. Componentes eletrônicos, supermateriais e pequenas máquinas poderão ser fabricados a partir de nanotubos. Diversas pesquisas vêm se dedicando à montagem de componentes eletrônicos, como transistores, a partir de nanotubos. Os nanotransistores são considerados elementos precursores da nanoeletrônica, que deverá substituir a atual microeletrônica.

Estima-se que a nanoeletrônica poderá revolucionar a informática e as comunicações. Futuros desenvolvimentos nessa área compreendem, entre outros, nanoprocessadores, sistemas de comunicação baseados em nanocomponentes eletrônicos, nanodispositivos para o armazenamento de informações e nanossensores. Os nanoprocessadores consumirão menos energia e aumentarão o processamento de informações em milhões de vezes. Os sistemas de comunicação baseados em nanocomponentes eletrônicos utilizarão altas frequências do espectro óptico, aumentando a largura da banda de transmissão em cerca de dez vezes. Os nanodispositivos para o armazenamento de informações, por sua vez, terão

capacidade de armazenamento cerca de mil vezes maior do que a dos atuais dispositivos eletrônicos. Já os nanossensores permitirão coletar, processar e transmitir grandes quantidades de dados, com baixo consumo de energia.

Como parte dos desenvolvimentos em nanoeletrônica, pesquisam-se também sistemas baseados em realidade virtual. Com o objetivo de tornar a interface entre computadores e usuários mais interativa, esses sistemas poderão permitir a interação com nanomateriais para a realização de testes e inspeções e para assistir na montagem de nanodispositivos, bem como ser utilizados em soluções customizadas para as áreas de ensino e entretenimento.

Nanotecnologias no Setor de Educação

À medida que forem se desenvolvendo, as nanotecnologias devem gerar novos conhecimentos em muitas áreas, tais como física, química, biologia, matemática, engenharia e ciência de materiais. A interdisciplinaridade de pesquisas reforçará as conexões entre essas áreas e abrirá novos campos de pesquisa, ainda não imaginados. Isso mudará a forma como estudantes e profissionais são educados e treinados para exercer seu trabalho. Repensar a educação em função dos desenvolvimentos em nanotecnologia constituirá um grande desafio.

Nanotecnologias no Setor Governamental

No setor governamental, estima-se que as nanotecnologias poderão, mais especificamente, contribuir com aplicações que beneficiarão a segurança. Nanossensores serão utilizados para detectar a presença de armas químicas, biológicas e nucleares. Componentes nanoeletrônicos serão empregados na construção de robôs para realizar operações que envolvam riscos. Nanotecnologias de realidade virtual facilitarão o treinamento de pessoal e serão a base de sistemas para monitoramento da construção de armas nucleares.

6 Atuais Desenvolvimentos

Novos produtos de nanotecnologias vêm gradativamente incentivando outros desenvolvimentos nessa área. No campo da eletrônica, sensores magnéticos baseados em nanoestruturas são utilizados para leitura e gravação de informações em discos rígidos de computadores, contribuindo para aumentar sua capacidade de armazenamento.

Novos materiais vêm sendo utilizados na produção de diversos produtos. Por exemplo, materiais conformados por nanoestruturas resistentes à abrasão são empregados no revestimento e proteção de lentes ópticas. Nanopartículas, que apresentam maior poder de absorção de raios ultravioletas, são usadas em loções para proteção solar. Materiais com nanoporos, cujo tamanho varia entre 10 e 100 nanômetros, ajudam na limpeza de efluentes em casos de derramamentos, removendo elementos contaminantes ultrafinos.

Na área de pesquisas, biochips nanoestruturados permitem a identificação e o seqüenciamento de genes que se encontram ativos na célula, tendo sido particularmente úteis no Projeto Genoma. Nanoestruturas semicondutoras são usadas como marcadores fluorescentes em sistemas biológicos, e nanopartículas magnéticas aumentam o contraste de imagens em aplicações de ressonância magnética.

Um segundo grupo de novos produtos encontra-se em fase final de pesquisas. Nesse grupo destacam-se, entre outros, novos tipos de componentes para o processamento e armazenamento de informações, nanodispositivos para a dessalinização de águas e diversos tipos de aerogel. Nanocomponentes para o processamento e armazenamento de informações aumentarão a capacidade dos atuais computadores. Nanodispositivos para dessalinização de águas consomem menos energia do que a utilizada em outros processos. Novos tipos de aerogel,

constituídos por camadas tridimensionais de nanoestruturas, possuem alta porosidade e serão muito importantes em processos de catálise e na captura, armazenamento e distribuição de energia.

Um dos mais importantes desenvolvimentos em nanotecnologia, ainda em fase de pesquisas, vem a ser os nanotubos de carbono. Descobertos em 1991, através da vaporização de grafites de carbono, eles foram assim denominados porque sua estrutura é semelhante a uma rede de hexágonos de grafite em forma tubular. Atualmente eles vêm sendo desenvolvidos em diâmetros inferiores a 1,4 nanômetros. Com apenas alguns nanômetros de diâmetro e comprimento de até um milímetro, os nanotubos de carbono representam uma estrutura molecular sem precedentes.

O potencial de utilização de nanotubos é bastante amplo. Há uma grande demanda industrial por fibras que possam ser utilizadas como condutores de eletricidade, semi-condutores ou isolantes. Os nanotubos de carbono apresentam vantagens sobre outros materiais atualmente comercializados devido a suas propriedades químicas, mecânicas e eletrônicas. Essas características vêm acelerando as pesquisas que se dedicam à aplicação dos nanotubos no desenvolvimento de diversos produtos, como, por exemplo, células para o armazenamento de hidrogênio, compósitos e conectores eletrônicos.

Uma das mais recentes aplicações dos nanotubos de carbono envolve a detecção de gases tóxicos, tais como dióxido de hidrogênio e amônia. A monitoração desses gases é muito importante porque, em altas concentrações, eles podem contribuir para aumentar o efeito estufa e as chuvas ácidas. Os dispositivos atualmente empregados nessa monitoração são pesados e caros. Os nanotubos de carbono representam uma alternativa economicamente viável e de grande portatibilidade, que pode colaborar para o desenvolvimento de uma geração totalmente nova de minúsculos sensores para monitoração do meio ambiente.

7 Principais Desafios

As nanotecnologias ainda são muito pouco exploradas. A nanociência, que deverá pesquisar os fenômenos em nanoescala e aprimorar sua compreensão, é bastante incipiente. O potencial de transferência de conhecimentos para aplicações práticas em nanotecnologias é a base do crescente entusiasmo pelo tema, mas a maioria dos projetos está além das capacidades atuais de realização nesse campo.

Uma das principais questões em nanotecnologias diz respeito à escala. Materiais e sistemas em nanoescala têm suas propriedades modificadas e se comportam de forma especial, isto é, seu comportamento não pode ser medido a partir do comportamento observado em materiais e sistemas em escalas maiores.

Ainda se conhece muito pouco sobre o comportamento de materiais e sistemas em nanoescala. As nanopartículas são muito pequenas para serem medidas diretamente e muito pouco conhecidas para serem descritas através dos atuais métodos computacionais. Além disso, apresentam muitas flutuações, que impedem que elas sejam tratadas como monólitos em relação ao tempo e espaço. Vale lembrar também que as nanopartículas são muito poucas para serem descritas através de métodos estatísticos. Uma compreensão precisa do comportamento de nanocomponentes e o desenvolvimento de métodos que possam prever esse comportamento são fundamentais para a manufatura de materiais, dispositivos e sistemas em nanoescala.

Princípios de modelagem e simulação vêm sendo aplicados no desenvolvimento de algoritmos que permitem simular objetos em nanoescala. Essas simulações têm colaborado na formulação de novas teorias sobre o comportamento de nanomateriais, e espera-se que possam contribuir para resolver questões fundamentais da nanotecnologia. Entre essas questões, encontram-se a redução do tempo necessário ao projeto de novos nanomateriais, formas de desenvolver

dispositivos confiáveis a partir desses materiais e caminhos para a otimização das nanotecnologias.

Apesar dos resultados promissores, para que os princípios de modelagem e simulação possam ser melhor aplicados às nanotecnologias, faz-se necessário o desenvolvimento de uma infraestrutura de ciências e tecnologia. Alguns princípios teóricos, tais como as teorias sobre o transporte de elétrons e as reações químicas em ambientes especiais, deverão ser aprimorados.

Por outro lado, a infraestrutura física para esses desenvolvimentos também deve ser aprimorada. Por exemplo, são necessários novos instrumentos para medir nanoestruturas, tais como microscópios eletrônicos com manipuladores, que possibilitam medidas com maior precisão. A pequena quantidade e o tamanho das nanoestruturas requer a construção de instalações especiais, que compreendem equipamentos de alta resolução, fontes de radiação de luz de alta intensidade e equipamentos para litografia.

A nanoeletrônica, um dos mais promissores campos de aplicação das nanotecnologias, enfrenta desafios particulares em relação ao seu desenvolvimento. Não existe um elemento básico para a construção de componentes nanoeletrônicos que desempenhe o mesmo papel do transistor na microeletrônica. Ainda não se concebeu uma arquitetura padrão para o processamento de dados. Ao mesmo tempo, tecnologias para a produção em massa de componentes nanoeletrônicos não foram estabelecidas.

Os processos litográficos que vêm sendo empregados na conformação de componentes nanoeletrônicos restringem as dimensões de determinados componentes, tais como fios condutores, porque estes são limitados pelo comprimento de onda da luz que empregam. Para resolver esse problema, algumas pesquisas vêm utilizando comprimentos de onda cada vez mais curtos, na faixa de ondas ultravioletas do espectro eletromagnético. Entretanto, esse processo aumenta consideravelmente os custos de fabricação de nanoestruturas.

A litografia através de raios X e a litografia através de feixes de elétrons podem ser alternativas para esse problema, mas também há obstáculos em seu desenvolvimento. Da mesma forma que a litografia ótica, a litografia através de raios X utiliza moldes para a produção em massa. Processos de fabricação que possam garantir a precisão desses moldes ainda não foram desenvolvidos. Em relação à litografia por feixes de elétrons, existem diversos problemas na interação entre elétrons e polímeros.

Entre os maiores desafios para a manufatura de nanoproductos em geral, cujo principal objetivo consiste em fabricar produtos confiáveis e de baixo custo, encontra-se o descompasso entre ciências e tecnologias. Mais especificamente, é preciso que ciências e tecnologias trabalhem em conjunto para solucionar a principal questão da manufatura, que envolve o controle de duas características de materiais em nanoescala: a capacidade de auto-replicação e a automontagem.

Algumas pesquisas vêm utilizando o DNA como modelo para desenvolver moléculas que tenham a capacidade de rearranjar suas estruturas. Outras têm aplicado sínteses químicas para desenvolver a habilidade de posicionar átomos individuais em locais precisamente definidos em estruturas complexas. A idéia fundamental consiste na criação de nanomecanismos que sejam capazes de dispor moléculas exatas em locais precisos.

A manipulação de átomos para construir moléculas e, em seguida, combiná-las em dispositivos e materiais requer a união de técnicas de síntese química e de métodos de engenharia, para que o controle posicional seja preciso. Tecnologias de manufatura, tais como sistemas microeletromecânicos (MENS – do inglês *microelectromechanical systems*), são capazes de controlar e manipular microcomponentes. O desenvolvimento de tecnologias similares em nanoescala ou sistemas nanoeletromecânicos (NEMS – do inglês *nanometer-sized electromechanical structures*) possibilitará a automontagem de nanoestruturas.

Para facilitar a compreensão e a previsão das propriedades de nanoestruturas, sua identificação química é fundamental. Alternativas ou aprimoramentos para

técnicas de química analítica de identificação de substâncias, tais como espectrometria de massa, vibracional ou eletrônica, análise de elementos e ressonância magnética, deverão ser desenvolvidos para possibilitar a identificação de estruturas individuais em nanoescala.

Outros grandes desafios das nanotecnologias residem em sistemas de visualização, medida e caracterização de elementos em nanoescala. Os dispositivos atualmente empregados para visualizar nanoestruturas em três dimensões limitam-se à sua superfície ou a camadas próximas dessa superfície. Dispositivos que possibilitem visualizar imagens de camadas mais profundas, em três dimensões e com resolução espacial para nanoescala ainda não estão disponíveis.

Localizar e manter uma determinada posição com precisão de nanômetros é uma tarefa extremamente difícil. O desenvolvimento de padrões para a calibração, o aprimoramento de métodos de medidas e a fabricação de equipamentos para classificar e selecionar nanopartículas em pequenas frações de tamanho representam grandes desafios para a padronização de medidas em nanoescala.

Atualmente, é possível determinar apenas algumas propriedades de nanoestruturas. A integração de conhecimentos de engenharia, química, física e biologia deverá dar origem a tecnologias multifuncionais. Essas tecnologias serão capazes de prover, com rapidez e precisão, diagnósticos ou análises totais de nanoestruturas, permitindo sua completa caracterização.

8 Impactos

As nanotecnologias constituem um campo promissor, apesar de se encontrarem, na maioria dos casos, em estágios iniciais de pesquisa. Compreender seus impactos nesse cenário ainda em formação é uma tarefa um tanto quanto difícil. Entretanto, esperam-se grandes transformações como resultado da sua difusão em diferentes setores. A seguir, são apresentados os riscos e benefícios das nanotecnologias e discutidos seus impactos na educação e trabalho.

8.1 Benefícios e Riscos

Como toda tecnologia para a qual são estimados grandes impactos como resultado de sua difusão, as nanotecnologias oferecem não só benefícios como também riscos. As tecnologias limpas baseadas em nanoestruturas, por exemplo, poderão contribuir para a preservação do meio ambiente. Outros diferentes tipos de nanoestruturas serão muito importantes para os setores de saúde, eletrônica e comunicações. Por outro lado, nanotecnologias que contribuam para a produção de artefatos e que contenham material genético, quando indevidamente utilizadas, poderão causar danos de proporções imprevisíveis. Outros riscos consideráveis podem ser vislumbrados em função do tamanho e da propriedade de auto-replicação de nanoestruturas.

Diversas pesquisas vêm se dedicando a estudar os impactos da nanotecnologia. Por representar um campo totalmente novo, ainda não existe um consenso sobre seus benefícios e riscos. Entretanto, existe um reconhecimento dos aspectos – em grande parte resultantes de estimativas – fundamentais para melhor compreensão de futuros desenvolvimentos.

Tabela 1 – Principais Benefícios das Nanotecnologias

Setores	Benefícios
Meio Ambiente	<p>Nanopartículas apresentam como propriedade uma grande área superficial que favorece a fabricação de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Catalisadores • Materiais para refletir o calor; • • Aerogel transparente para manter a umidade em coberturas; • Isolantes térmicos; • Materiais de construção transparentes e com maior resistência ao uso, abrasão e umidade; • Coberturas para janelas que reduzirão a acumulação de poeira e água, permitindo que sua limpeza seja feita através de águas pluviais; • Tintas especiais que facilitarão a limpeza de paredes; • Nanofluidos que reduzirão a vibração de motores e facilitarão a limpeza de materiais em vidro; • Membranas de colóides para purificar a água, eliminando bactérias; • Novas técnicas de processamento que utilizarão baixas temperaturas, minimizando o consumo de energia durante a fabricação de componentes. <p>Tecnologias limpas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nanocatalisadores que aumentarão a eficiência de reações químicas; • Materiais que permitirão a economia de energia e combustíveis; • Produtos para captar, armazenar e distribuir energia solar; • Nanopartículas que conformarão dispositivos para similares a baterias e pilhas mas não-poluentes e com estruturas mais simples e maior capacidade de armazenamento de energia; e • Plásticos condutores de energia.
Saúde	<ul style="list-style-type: none"> • Medicamentos aprimorados, com menores efeitos secundários, devido ao aumento da compreensão da eficácia de substâncias humanas naturais, tais como insulina e hormônios; • Novas formas de distribuição de medicamentos baseadas no potencial de solubilidade da água, em substâncias ativas ligadas a nanopartículas e na auto-organização de partículas de cápsulas que envolvem medicamentos; • Maior controle da eficácia de medicamentos, através da incorporação de informações em sistemas de distribuição; • Partículas magnéticas como opção para tratamento de doenças; • Redução de custos da medicina preventiva através de nanossensores capazes de detectar doenças em fases iniciais; e • Nanomáquinas poderão ser colocadas na corrente sanguínea para detectar vírus, combater doenças e reparar células.

Tecnologias de Comunicação e Eletrônica	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas com maior capacidade de armazenamento de informações; • Blocos de auto-construção reduzirão o tempo de montagem de equipamentos eletrônicos; e • Nanossensores que aumentarão o poder de controle de velocidades e de posicionamento de veículos.
---	--

Tabela 2 – Principais Riscos das Nanotecnologias

Produtos/Características	Riscos
Artefatos baseados em nanotecnologias que contenham materiais genéticos ou modificações genéticas	<ul style="list-style-type: none"> • Possíveis riscos relacionados a plantas e animais, inclusive aos seres humanos; e • Se o artefato contiver sensores nanoeletrônicos – como, por exemplo, para controlar a distribuição de medicamentos –, poderá haver riscos para os pacientes, em caso de disfunção desses sensores.
Tamanho de artefatos baseados em nanotecnologias	<ul style="list-style-type: none"> • Invasão de privacidade do corpo humano através do implante de dispositivos de comunicação em artefatos utilizados, por exemplo, para distribuição de medicamentos; • Riscos éticos em relação a implantes, principalmente em seres humanos; Riscos em relação à segurança pessoal, devido à dificuldade de detectar a presença de nanoartefatos; e • Maior dificuldade de controle de armas químicas e biológicas baseadas em nanotecnologia.
Propriedades de auto-replicação e automontagem de nanoestruturas	<ul style="list-style-type: none"> • Risco de perda de controle sobre essas propriedades.
Compósitos nanoestruturados	<ul style="list-style-type: none"> • Reciclagem difícil, porque há maior consumo de energia do que no caso de materiais puros; e • Riscos ambientais devido à não-reciclagem de nanocomponentes.

8.2 Nanotecnologias e Educação

As novas oportunidades geradas pelas nanotecnologias, tanto na área científica quanto em relação ao desenvolvimento de materiais, produtos e sistemas, resultam da convergência de diversas disciplinas, tais como física, química, biologia, engenharia e ciência de materiais. Essa multidisciplinaridade suscita duas principais questões em relação aos requisitos para a conversão de ciências em tecnologias. A primeira questão envolve a atual disponibilidade de profissionais

capazes de trabalhar, de forma eficaz, neste novo domínio. A segunda compreende as possibilidades do atual sistema educacional de contribuir para a formação de novos profissionais no campo da nanotecnologia.

A aprendizagem de uma disciplina, em geral, parte do estabelecimento de fundamentos para a construção de novas camadas de conhecimento. Essa abordagem vem contribuindo para a formação de uma força de trabalho bastante especializada. Isso pode ser notado, por exemplo, através das próprias estruturas de empresas e de estabelecimentos de ensino, que, em sua grande maioria, são departamentalizadas. Particularmente na área acadêmica, altos níveis de especialização impedem que especialistas em uma determinada disciplina possam capitalizar mais facilmente conhecimentos de outras áreas, no que diz respeito a novos desenvolvimentos.

O advento da capacidade de medir, manusear e organizar a matéria em nanoescala vem rompendo barreiras entre diversas ciências. Por exemplo, para a identificação de estruturas em nanoescala faz-se necessário analisar não somente uma de suas propriedades, mas um conjunto delas. Neste caso, envolvem-se teorias da química, física e, em se tratando de bioestruturas, da biologia. Como esse tipo de análise envolve um certo grau de complexidade, faz-se necessária a ajuda de teorias matemáticas e recursos computacionais.

Em nanoescala, as fronteiras entre as várias disciplinas apresentam uma convergência. A transição para este novo campo é um passo inevitável. Profissionais dedicados ao desenvolvimento da nanociência e das nanotecnologias deverão ter conhecimentos mais amplos, que não constam dos atuais currículos. Por exemplo, um profissional interessado em desenvolver dispositivos nanoeletrônicos deverá ter conhecimentos sobre os tipos de nanoestruturas funcionais encontradas em células, sobre conceitos e capacidades de colóides químicos e sobre auto-replicação.

Dois aspectos fundamentais para a educação em nanotecnologias são mencionados por Drexler (1988), em seu relatório sobre estudos em nanotecnologia: “*Não é*

possível dominar tudo o que é relevante para um campo tão amplo” e “Nanotecnologia é um ramo da Engenharia”. Desenvolver um sistema para educar e treinar profissionais em nanociência e nanotecnologia requer mudanças substanciais, que têm como enfoque central a multidisciplinaridade. Passos iniciais poderão ser facilitados através de programas interdisciplinares, incentivando-se a comunicação entre as diferentes disciplinas que contribuem para a nanotecnologia. Como os desenvolvimentos em nanotecnologias compreendem uma série de conhecimentos, pesquisas que envolvam a colaboração de várias equipes poderão constituir uma importante contribuição, não somente em âmbito acadêmico, como também empresarial.

As iniciativas para formar profissionais em nanotecnologias ainda são poucas e, em geral, contemplam o nível de pós-graduação. Na Europa, por exemplo, o Institute of Nanotechnology credita o primeiro curso de mestrado em Microsistemas e Nanotecnologia, iniciado em outubro de 2001, à Inglaterra. Cursos de pós-doutorado são fundamentais para novas oportunidades na área acadêmica. Como a nanociência e as nanotecnologias são interdisciplinares, o tempo de aprendizagem de seus fundamentos é maior do que no caso do estudo de disciplinas isoladas, e esses cursos são, em geral, mais complexos e mais extensos do que aqueles de áreas convencionais, como física, biologia, química e ciência dos materiais.

Em relação à graduação, verifica-se que cursos específicos em nanotecnologia iniciaram-se mais recentemente. No Canadá, por exemplo, o primeiro curso nessa área começou a ser oferecido em 2002/2003, para estudantes do terceiro ano de engenharia. Esse curso, que deverá formar engenheiros especializados em nanoengenharia, compreende estudos interdisciplinares em biologia molecular, engenharia biomédica, química aplicada, física, eletrônica e ciência dos materiais.

Outros países, como, por exemplo, a Suíça, vêm reconhecendo a importância de profissionais bem treinados em nível técnico, como forma de impulsionar a transição das novas descobertas em nanotecnologia para a área comercial. Em

antecipação à demanda industrial por técnicos especializados em nanotecnologia, o sistema educacional suíço disponibiliza programas específicos para esse grupo de profissionais.

Para os interessados em estudar nanotecnologias, Drexler (1988) elaborou um pequeno roteiro com sugestões para uma avaliação dos passos necessários. Segundo o autor, faz sentido pensar em três níveis de conhecimento. O primeiro nível abrange os objetos de estudo no campo das nanotecnologias, como, por exemplo, a compreensão dos tipos de sistemas e fenômenos físicos envolvidos, quais as questões geradas por esses sistemas e como elas podem ser respondidas. O segundo nível compreende o conteúdo do campo em termos qualitativos, ou seja, ter um bom conhecimento sobre espécies de fenômenos que podem ser importantes em dadas circunstâncias e saber quando são necessárias respostas a esses fenômenos. Finalmente, o terceiro nível envolve saber como obter respostas, a partir do desenvolvimento de experiências pessoais.

Ao mesmo tempo em que são necessários maiores incentivos para o desenvolvimento de cursos em nanotecnologias, outro importante desafio da educação nesse campo diz respeito à infraestrutura. Pesquisas em nanotecnologias requerem equipamentos de medidas sofisticados e acesso a dispositivos específicos para manufatura. A construção de instalações especiais, com equipamentos de alta resolução, fontes de radiação de luz de alta intensidade, equipamentos para litografia por feixes de elétrons e microscópios especiais são fundamentais para a realização dessas pesquisas.

Conforme atuais estudos, a força de trabalho para a manufatura em nanotecnologias será fundamentalmente composta de engenheiros e técnicos especializados em áreas relacionadas à engenharia. Atualmente, o maior desafio para a formação desses profissionais está relacionado à multidisciplinaridade das nanotecnologias.

Para atuar no campo de nanotecnologias, é necessário ter domínio absoluto dos princípios de biologia, física e química e dos princípios de engenharia para projeto, controle e manufatura. As ciências provêm a base para a nanofabricação e também as regras nos domínios da nanoescala. A importância da biologia está relacionada à estimativa de um crescente aumento na fabricação de aplicações biomédicas e na própria composição de nanoestruturas, que procura copiar sistemas biológicos. A física provê conhecimentos para a compreensão de propriedades em nível atômico. A química provê as ferramentas necessárias para manipular átomos e moléculas.

Embora já se observe o desenvolvimento de alguns cursos, principalmente em nível de graduação em engenharia com especialização em nanotecnologias, especialistas em educação estudam a base de conhecimentos necessária para a formação desses profissionais, que deve ser adquirida no ensino médio. Como os impactos das nanotecnologias ainda não são suficientemente conhecidos, tampouco são suas demandas educacionais. O ensino médio ainda trata o estudo das ciências de forma separada, ou seja, não há uma integração efetiva entre biologia, física e química, considerada necessária para iniciar estudos em nanotecnologia.

Como principais medidas para atender a possíveis demandas por engenheiros, em função de novas descobertas em nanotecnologia, teríamos: uma maior exposição às ciências durante o ensino médio, para auxiliar na formação de futuros engenheiros, e a criação de novos cursos de pós-graduação. Estes deverão prover conhecimentos de biologia, física e química para engenheiros, habilitando-os a desenvolver trabalhos na área de nanotecnologia.

Em nível técnico, a força de trabalho é considerada imprescindível para viabilizar a nanomanufatura. Os maiores desafios para a formação de profissionais nessa modalidade de ensino consistem na falta de difusão sobre a importância das nanotecnologias e na necessidade de integração entre as ciências físicas, químicas e biológicas.

Outro aspecto apontado como barreira para a formação de técnicos em nanotecnologias, principalmente nos Estados Unidos, é a tendência em direcionar estudantes a cursar programas que desenvolvem competências de difícil reconhecimento no mercado de trabalho. Em lugar de reforçar a importância de cursos com maior embasamento científico, estudantes seriam levados, por exemplo, a cursar programas como cosmetologia.

Entre as principais soluções apontadas como passos para a formação de técnicos em nanotecnologia, encontram-se: difundir as nanotecnologias e sua importância como direcionadoras de novas tecnologias; solidificar os conhecimentos sobre os fundamentos de biologia, química e física e promover a integração entre essas disciplinas; e criar programas especiais para a preparação de técnicos para a nanofabricação.

8.3 Nanotecnologias e Trabalho

Embora observe-se a recente criação de cursos na área de nanotecnologias, com alguns pesquisadores de renome sendo reconhecidos como nanotecnólogos, ainda não se encontra uma definição formal dessa ocupação. Da mesma forma, não há uma definição formal para as ocupações de nanoengenheiro ou técnico em nanoengenharia. Verifica-se ainda a ausência de estudos sobre futuras ocupações em nanotecnologias, visto que se trata de um campo ainda em formação, cujos principais desenvolvimentos concentram-se em pesquisas de base.

Algumas pesquisas indicam que áreas de competência associadas à engenharia mecânica, tais como design e técnicas de fabricação, poderão experimentar uma alta demanda no futuro. A vantagem da engenharia mecânica está concentrada na integração de competências amplas. Nesse contexto, engenheiros mecânicos desempenhariam um grande papel no campo multidisciplinar das nanotecnologias. Mais especificamente, estariam trabalhando em conjunto com físicos, químicos e engenheiros elétricos, que atualmente dominam a área de pesquisas e desenvolvimento.

Nos Estados Unidos, o BLS (Bureau of Labor Statistics) classifica os engenheiros que atuam na área de nanotecnologias como engenheiros mecânicos. A definição oficial dessa ocupação não contém atividades estritamente relacionadas a nanotecnologias, mas menciona as modificações que vêm sendo introduzidas no conteúdo do trabalho em função desse novo campo: *“Engenheiros mecânicos projetam ferramentas que outros engenheiros utilizam em seu trabalho. O campo de nanotecnologias, que envolve a criação de materiais e componentes de alta performance através da integração de átomos e moléculas, vem introduzindo princípios totalmente novos ao processo de design”*.

Em geral, as nanotecnologias configuram-se um campo de especialização, e os profissionais graduados nessa área podem seguir diferentes carreiras, a saber:

- empresarial, gerência de investimentos em pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologias;
- pesquisa e desenvolvimento em instituições públicas e privadas;
- pesquisa e consultoria no desenvolvimento de nanotecnologias para diversos setores, tais como farmacêutico, médico, de alimentos e bebidas, de meio ambiente ou de agricultura;
- desenvolvimento de produtos de nanotecnologias;
- comunicações, marketing e vendas de novas nanotecnologias e seus produtos;
- outras carreiras em empresas que surgirão como resultado da difusão de nanotecnologias.

Atualmente, a demanda para a área de nanotecnologias recai sobre as ocupações de biólogo, físico, químico, engenheiro e técnico. Esses profissionais devem ser especializados em química, biologia, ciência dos materiais, genética, biomedicina, eletrônica ou computação. Além dessa formação, requisita-se experiência, em geral de dois anos, em determinadas áreas de especialização, como, por exemplo: químico ou engenheiro químico com especialização em polímeros; engenheiro

químico ou de materiais com especialização em catalisadores; químico com especialização em sínteses e reações de compostos orgânicos.

A dificuldade de encontrar profissionais especializados no mercado tem contribuído para que algumas empresas de nanotecnologia mudem seus requisitos de contratação. Em geral, essas empresas não mais contratam somente pesquisadores. Outros profissionais, igualmente especializados em pesquisas acadêmicas de base e no desenvolvimento de aplicações, vêm substituindo aqueles. Como o campo de trabalho é bastante multidisciplinar, profissionais com essas qualificações provêm de diversas áreas dos ramos das ciências (física, química etc.) e engenharias (elétrica e mecânica, entre outras).

Para contornar o problema de falta de mão-de-obra especializada, outras organizações vêm investindo no treinamento de profissionais e no compartilhamento de seus laboratórios com universidades. Isso vem ocorrendo principalmente em empresas públicas, que não têm condições de competir com as empresas privadas, porque estas oferecem salários mais altos para atrair profissionais. Essas soluções são consideradas provisórias, visto que só são viáveis neste momento em decorrência das atuais iniciativas governamentais para promover as nanotecnologias sob a forma de financiamentos.

Existe uma grande preocupação concernente à formação de futuros profissionais, pois muito poucos estudantes são atraídos para campos de estudo que são relevantes para as nanotecnologias. Em geral, esse é o mesmo problema enfrentado pelas ciências naturais, mas no caso das nanotecnologias a situação é mais grave. Estima-se que um número consideravelmente grande de cientistas, engenheiros e técnicos serão necessários para construir as indústrias de nanotecnologia, e esses profissionais deverão possuir conhecimentos multidisciplinares.

Algumas pesquisas apontam a falta de interesse pelo campo de nanotecnologias a percepções errôneas sobre seus objetos de pesquisa. Embora compreendam desenvolvimentos em vários setores, como, por exemplo, os de saúde e de meio

ambiente, as nanotecnologias ainda são relacionadas à microeletrônica por muitas pessoas. Considera-se que essa associação equivocada só deverá desaparecer à medida que as nanotecnologias forem sendo divulgadas, o que contribuirá definitivamente para desvinculá-las do campo da microeletrônica, mostrando oportunidades em outras áreas.

Essa divulgação será ainda mais importante quando dirigida a estudantes de nível médio e fundamental. Nas duas últimas décadas, o domínio das tecnologias de informação contribuiu para criar uma geração que conhece bem os computadores, mas que nunca ouviu falar de nanotecnologias. Esse público, em especial, poderá integrar parte da grande força de trabalho necessária para o desenvolvimento das nanotecnologias no futuro.

Na área acadêmica – fundamental para a formação de novos profissionais para o campo de nanotecnologias –, a falta de mão-de-obra também constitui um grande problema. Segundo pesquisas, isso acontece porque a maioria dos pesquisadores que obtêm o grau de doutor em ciências relevantes para as nanotecnologias ou que se especializam em nanotecnologias abandonam a carreira acadêmica, passando a trabalhar como pesquisadores em empresas privadas.

Embora seja crescente a necessidade de mão-de-obra especializada em nanotecnologias, faz-se necessário lembrar que se trata de um novo campo. Isso significa que algumas nanotecnologias podem não ser bem-sucedidas. Desta forma, os requisitos profissionais talvez sejam mais homogêneos.

9 Conclusões

As nanotecnologias têm um grande potencial, particularmente no que diz respeito à criação de produtos, materiais e dispositivos de alto valor agregado. Os benefícios esperados de seus desenvolvimentos, tais como redução da poluição ambiental, aprimoramentos na área de saúde, melhorias nos transportes e na produção e otimização do armazenamento e consumo de energia, prometem contribuir para uma maior qualidade de vida no futuro.

O controle da matéria em nanoescala já vem exercendo um importante papel em diversas áreas científicas, tais como física, química, ciência de materiais, biologia, medicina, engenharia e computação. Destaque para as pesquisas que levaram à descoberta de nanotubos de carbono, os quais podem ser a base para a construção de novos materiais. Novos componentes eletrônicos, baseados em princípios de nanotecnologia, contribuíram para o aumento da capacidade de armazenamento dos discos rígidos de computadores.

Apesar do reconhecimento do potencial desta nova área para gerar uma revolução industrial nas próximas décadas, ainda existem muitos desafios relacionados a pesquisas de base e a manufatura de nanoestruturas. Novos métodos de investigação em nanoescala, teorias científicas e diferentes formas de fabricação de produtos e materiais são descobertas fundamentais para garantir maiores desenvolvimentos. Outro desafio em nanotecnologias compreende a formação de uma força de trabalho capacitada. Uma baixa oferta de profissionais capacitados pode vir a ser um fator limitador da velocidade de introdução da nanotecnologia no mercado.

Enquanto se buscam resoluções para esses desafios, esperamos que este documento venha a contribuir para que surjam novas iniciativas na área de nanotecnologia, por meio da disseminação de seus objetivos, possíveis aplicações, atuais desenvolvimentos, benefícios e riscos, bem como de suas implicações nas áreas de educação e trabalho.

Referências

AN INVITATION to Enter a New Field of Physics: There's Plenty of Room at the Bottom'. Disponível em: <<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>>.

APEC Center for Technology Foresight – Nanotechnology. Disponível em: <<http://www.apectf.nstda.or.th/html/nano.html>>.

CORDIS. Community Research and Development Information Service. Disponível em: <<http://www.cordis.lu/en/home.html>>.

DOERING, R.R. e P.K. Chatterjee. 1998. The Future of Microelectronics. **Proceedings** of the IEEE, 86,1.

DREXLER, E. **Engines of Creation**. Doubleday: Anchor Books, 1986.

_____. **Studying Nanotechnology**. Foresight Briefing #1, 1988. Disponível em: <<http://www.foresight.org/Updates/Briefing1.html#Fields>>.

_____. **Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution**, 1991.

_____. Protein design as a pathway to molecular manufacturing. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, Vol. 78, No. 9, pp. 5275-5278, Setembro, 1981.

ESANT; ECONOMIC AND SOCIAL ASPECTS OF NANOTECHNOLOGY

Report of working group 6 of the Euroconferences on Nanoscience for Nanotechnology, presented in Antwerpen, 21-24 Novembro, 1999. Disponível em: <<http://www.cerro-extruded-metals.com/nano/ESANT99>>.

FONASH, Stephen J., Education and Training of the Nanotechnology Workforce, **Journal of Nanoparticle Research** 3: 79–82, 2001, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

FORESIGHT Institute. Disponível em: <<http://www.foresight.org>>.

INITIATIVES in Nanotechnology. Rice University. Disponível em: <<http://pchem1.rice.edu/nanoinit.html>>.

KRUMMENACKER, M.; LEWIS, J. **Prospects in Nanotechnology: Toward Molecular Manufacturing**. Wiley, 1995.

NANOFORUM . European Cooperation in the Field of Technology and Research. Disponível em: <<http://www.nanoforum.org>> .

NANOTECHNOLOGY Industry Portal. Disponível em: <<http://logistics.about.com/library/blnanotechnology.htm>> .

NANOTECHNOLOGY: opportunity or threat? Disponível em: <http://dbs.cordis.lu/cgi-bin/srchidadb?CALLER=NHP_EN_NEWS&ACTION=D&SESSION=&RCN=EN_RCN_ID:20401-2003-06-12> .

NATIONAL Nanotechnology Initiative: The Initiative and its Implementation Plan. Disponível em: <<http://www.nano.gov/>> .

NANOTECHNOLOGY Research Directions: IWGN Workshop Report. Disponível em: <<http://itri.loyola.edu/nano/IWGN.Research.Directions/>> .

NANOSTRUCTURE Science and Technology: A Worldwide Study. Disponível em: <<http://itri.loyola.edu/nano/>> .

NSTC. National Science and Technology Council . 1999. **Nanotechnology**: Shaping the World Atom by Atom. Washington, DC. Disponível em: <<http://www.nano.gov>> .

_____. 2000. **National Nanotechnology Initiative**: Leading to the Next Industrial Revolution. Washington, DC. Disponível em: <<http://www.nano.gov>> . (Supplement to the President's FY 2001 Budget).

NIST – National Institute of Standards and Technology - Nanotechnology (<http://www.nist.gov/nanotech>).

NOVA Workforce Board. **Nanotechnology**: The Next Great Wave of Innovation. White Paper, Set. 2003. Disponível em: <<http://www.novaworks.org>> .

PANDYA, B. H. **Nanotechnology Workforce Pipeline Challenges**. Report to The American Society of Mechanical Engineers. WISE, 2001.

ROCO, M.C.; R. S. Williams e P. Alivisatos (eds).. **Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report**, Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. Kluwer Academic Publishers. 1999. Disponível em: <<http://www.nano.gov/>> .

STIX, G. **Trends in nanotechnology: waiting for breakthroughs**. Sci. Am. Abril. 1996.

THE SOCIETAL Implications of Nanotechnology. Disponível em: <http://commdocs.house.gov/committees/science/hsy86340.000/hsy86340_of.htm - 2003> .

VANSTON, J. e ELLIOT, H. **Nanotechnology: A Technology Forecast**. Texas State: Technical College, 2003.

VOGUEL, V. e CAMPBELL, C. T. Education in Nanotechnology: Launching the First Ph.D. Program, Int. J. Engng., IEJEE 1314, Tempus Publications, 2002.

WALLIS, Roberta. Nanotechnology: The Library of Congress in Your Pocket. Research Libraries of the New York Public Library, American Library Association, 1992.

WTEC. Panel Report on Nanostructure Science and Technology R&D Status and Trends in Nanoparticles, Nanostructured Materials and Nanodevices. Setembro, 1999.

SENAI/DN

UNIEP – Unidade de Tendências e Prospecção

Luiz Antonio Cruz Caruso

Coordenador

ACIND – Área Compartilhada de Informação e Documentação

Fernando Ouriques

Normalização Bibliográfica

Elaboração

Maria Ilca Lima

Rita Torre

Revisão ortográfica

Image Up

Projeto Gráfico e Diagramação