



NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA: ABORDAGENS, DIFUSÃO, POPULARIZAÇÃO, QUESTÕES E DESAFIOS NUMA ÁREA MULTIDISCIPLINAR

Maria I. F. Macêdo^{1*}, Pedro L.F. Sousa¹, Eliel A. Camilo¹, Lucia M. S.S. Rangel¹

¹Departamento de Engenharia de Materiais, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias,
Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Av. Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203,
Campo Grande, Rio de Janeiro, CEP 23070-200, RJ. <maria.macedo@uerj.br>

RESUMO

A nanociência e nanotecnologia (N&N) baseiam-se na manipulação da matéria em escala nanométrica e são áreas de grande destaque para o desenvolvimento científico e tecnológico. A educação científica e tecnológica tem sido intensamente discutida dia-a-dia, tendo em vista o compromisso de diferentes instituições de ensino formar cidadãos capazes de entender o mundo no qual estão inseridos. A apreciação de conceitos e princípios da N&N é fundamental à alfabetização científica dos estudantes de uma forma geral. No entanto, há uma escassez de materiais didáticos que abordem o tema com linguagem acessível a estes estudantes. O trabalho apresenta resultados da análise das interações entre os estudantes e as atividades desenvolvidas. Os saberes da N&N foram abordados de forma interdisciplinar, envolvendo as ciências exatas e da natureza de forma articulada às ciências humanas e sociais com o intuito para o ensino de ciências, construídos a partir da revisão de literatura sob o enfoque ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente (CTSA), criando espaços democráticos e fortalecendo a formação de cidadãos mais responsáveis com o próximo, com a sociedade e com o meio ambiente. Pode-se concluir que muitas atividades podem ser inseridas a partir do conhecimento e vivência dos estudantes ao tema de forma a pensar de forma multidisciplinar. Várias áreas do conhecimento se convergem quando manipulamos a nanoescala, tendo como consequência novos produtos, novos processos e novas implicações na vida humana.

Palavras-chave: nanociência e nanotecnologia, popularização, multidisciplinaridade, desafios.

INTRODUÇÃO

Olhando para o mundo, é possível perceber que uma nova revolução tecnológica e transformação industrial está em ascensão, trazendo mudanças profundas para o desenvolvimento humano e proporcionando um novo caminho para resolver os problemas e atender aos desafios do desenvolvimento global. A crescente presença da ciência e da tecnologia nas atividades produtivas e nas relações sociais estabelece um ciclo permanente de mudanças, provocando rupturas rápidas e que precisa ser considerada.

A Figura 1 mostra as mudanças significativas observadas nos séculos passados cuja difusão se dava de modo lento e por longo período, os avanços da revolução da informação e conhecimento que se observam neste século criam possibilidades em áreas que podem ser exploradas com as nanotecnologias. Atualmente, vivemos a quarta revolução industrial, que tem como marco a virada do milênio e se baseia em um mix das dimensões, por exemplo: digital, química, física e biológica, trazendo desafios e oportunidades para todos. A nanotecnologia representa a força tecnológica revolucionária e a quarta revolução não envolve apenas máquinas inteligentes e conectadas; seu escopo é muito mais amplo e complexo. Se observa simultaneamente ondas de avanços em diversas áreas que vão do sequenciamento genético à nanotecnologia. É a fusão dessas tecnologias e a interação com as dimensões física, química e biológica que tornam o fenômeno atual diferente de todos os anteriores.



Figura 1: Revolução industrial e a revolução da informação.

Neste sentido, o presente trabalho é fruto de um projeto maior que visa contribuir em popularizar e difundir a N&N e os aspectos gerais para alfabetização científica nesta área tão revolucionária e promissora no mundo científico e tecnológico. É necessário que se traga ao conhecimento do estudante não apenas fórmulas e conceitos abstratos, mas a difusão de temas que de fato tenha influência na vida, buscando a contextualização entre a ciência, tecnologia, meio ambiente e sociedade (CTSA).

MATERIAIS E MÉTODOS

A discussão da relevância científica e tecnológica para fomentar entre os participantes do Curso de Extensão de “Introdução à Nanotecnologia” é a capacidade de entendimento acerca do mundo no qual se vive e oferecer a possibilidade de adquirir conhecimentos acerca das ciências na natureza e da tecnologia, que pode de fato, ser um elemento decisivo para o posicionamento crítico e responsável do indivíduo em relação aos dispares problemas existentes na sociedade. O resgate histórico foi realizado através de uma revisão de fatos que compõem a história dessa ciência, destacando as rupturas e explosões de temas emergentes reportados na literatura.

O Quadro 1 mostra as atividades que foram realizadas com o intuito de difundir e popularizar os aspectos importantes da N&N e ao final de cada tópico, os participantes desenvolveram um texto resumido para facilitar o entendimento para aquele que está sendo informado sobre o assunto pela primeira vez.

Quadro 1: Atividades desenvolvidas.

1. N&N, propriedades e a importâncias da nanoescala.	5. Aplicação da nanotecnologia.
2. História da nanotecnologia.	8. Ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.
3. A interdisciplinaridade da nanotecnologia.	9. Empresas com nanotecnologia
4. Obtenção dos nanomateriais: top down e button up	10. Conclusão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desafio de construir com uma Sociedade Científica e Tecnológica (SCT) crítica passa pela elaboração e consecução de atividades didáticas interessantes para o participante em uma perspectiva que alie: momentos históricos da nanotecnologia e os pesquisadores, forças tecnológicas revolucionarias, o enfoque CTSA, interdisciplinaridade, propriedades, aplicações e a complexidade da área em discussão, com o intuito de levar o participante a tornar-se um autodidata na construção do seu patrimônio cultural. É necessário buscar assuntos contemporâneos e que possam ser abordados sob uma perspectiva interdisciplinar, destacando-se a (N&N) que vêm contribuindo para o desenvolvimento do conhecimento nos mais diversos periódicos da área de interesse.

Nanociência, nanotecnologia, propriedades e a importância da nanoescala

Nanociência é o estudo dos fenômenos e da manipulação dos materiais na escala atômica, molecular e macromolecular, onde propriedades são diferentes dos de grande escala e a Nanotecnologia é projeto, caracterização, produção e aplicação de estruturas, equipamentos e sistemas através do controle da forma e do tamanho em escala nanométrica⁽¹⁾. A nanoescala é importante por desenvolver as seguintes propriedades: *Efeitos quânticos*: síntese em nanoescala que permite mudar propriedades micro e macro dos materiais sem mudar composições químicas, por exemplo, nanotubos; *Organização sistêmica*: materiais que podem ser organizados sistematicamente, tais como entidades biológicas e materiais naturais como uma poderosa possibilidade de combinação de biologia com ciência dos materiais, por exemplo pontos quânticos; *Área superficial*: componentes na nanoescala que possuem área superficial muito maior com relação ao volume, sendo ideal para uso em materiais compósitos, sistemas reatores, medicamentos e armazenamento de energia, por exemplo: nanocatalisador; *Alta densidade*: sistemas macroscópicos construídos a partir de nanoestruturas que podem ter muito maior densidade espacial que aqueles construídos a partir de microestruturas⁽²⁾.

O prefixo “nano” vem do grego e significa “anão” é um termo usado nas ciências para designar uma parte em um bilhão e, assim, um nanômetro (1nm), que corresponde a um bilionésimo de um metro. “Nano” é uma medida e não um objeto. Neste sentido, a nanociência é a ciência que estuda os materiais estruturados em escala nanométrica onde pelo menos uma das suas dimensões encontra-se ente 0,1 e 100 nm, e suas respectivas propriedades cujos processos de manipulação, síntese e caracterização são partes fundamentais para esses estudos^(3,4). A nanotecnologia é a aplicação da nanociência para produção de artefatos tecnológicos. Considera-se um material nanotecnológico quando apresenta propriedades particulares associadas à escala nano. Um exemplo desta grandeza é a comparação do planeta Terra, a bola de futebol e o fulereno (carbono 60 ou *buckyball*) que é uma molécula esférica com 1nm de diâmetro, com 60 átomos arranjados em 20 hexágonos e 12 pentágonos, como uma bola de futebol (Figura 3).



Figura 3: Comparação entre as grandezas de comprimento e medidas de expoente.

A relação entre o fulereno e a bola de futebol é aproximadamente a mesma entre a bola e o planeta Terra. Esses exemplos mostram o quão pequeno são as estruturas nanométricas e fica bem claro o porquê da alta complexidade ao se trabalhar na escala de nanômetros. Essa tecnologia só existe em laboratórios e indústrias com equipamentos de alta precisão, afinal, são necessárias máquinas muito precisas para trabalhar com componentes tão pequenos, os quais são invisíveis aos nossos olhos. Tendo em vista que $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ é possível ilustrar essa escala por meio de comparações, separando o que conseguimos ver com o olho humano, o que conseguimos ver com um microscópio óptico (MO) e o que vemos com os microscópios eletrônicos de transmissão (MET) e o de varredura MEV (Figura 4) e as escalas (Figura 5).

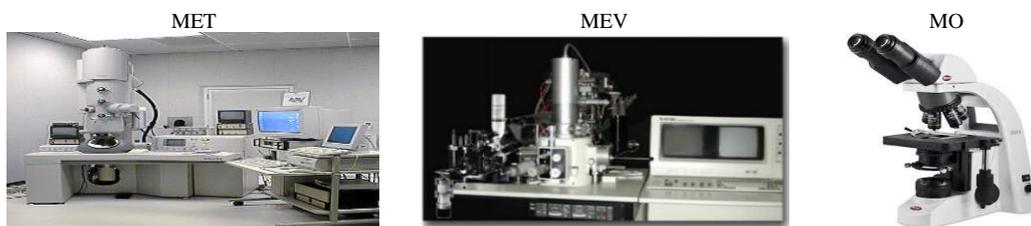


Figura 4: Microscópios: MET, MEV e MO.

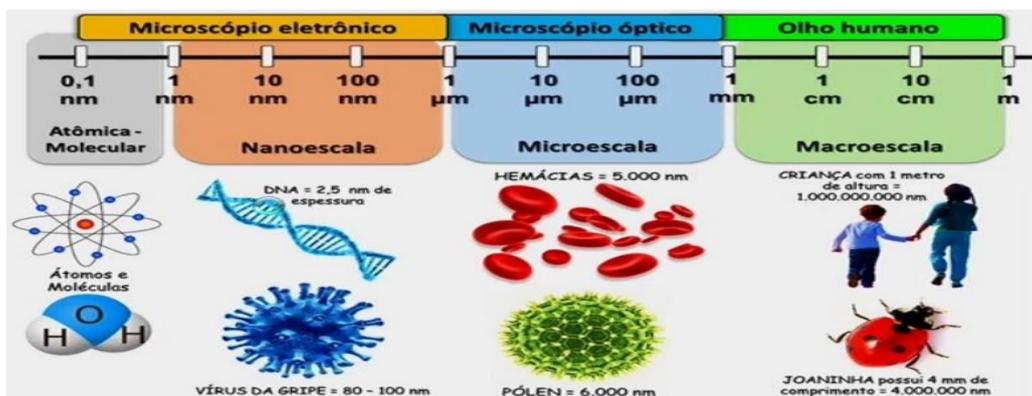


Figura 5: Escalas: macro, micro, nano e exemplos.

História da nanotecnologia: passado, presente e futuro

A nanotecnologia está presente nas atividades humanas há milhares de anos. Os egípcios no século V, 4.000 anos a.C, costumavam utilizar um elixir, chamado “elixir da longa vida” a base de partículas de ouro em suspensão de tamanho entre 1 e 100 nm que consideravam estimular a mente e recuperar a juventude. Os chineses utilizavam nanopartículas de carvão para a produção de tinta nanquim. Um outro exemplo muito conhecido no século IV, d.C, é o cálice de *Lycurgus* que é constituído de nanopartículas de prata e ouro em uma matriz vítrea, dando origem a um vidro dicróico que exibem propriedades óticas bastante interessante e de acordo com o ângulo de incidência da luz o material exhibe coloração diferente. A cor verde é resultado da reflexão da luz pela superfície do cálice e uma coloração vermelha, quando a luz é transmitida através do vidro. Na Europa, misturas de nanopartículas de metais eram muito usados nos vitrais das igrejas medievais^(5,6,7).

Ideias e descobertas dos pesquisadores fortaleceram o entendimento da nanociência e da nanotecnologia a saber: Richard Feynman (1959) que proferiu a palestra intitulada, *There's plenty of room at the botton*” (Há mais espaço lá embaixo) na reunião anual da Sociedade Americana de Física no Instituto de Tecnologia da Califórnia. Segundo Feynman, a disposição dos átomos um a um na forma desejada permitiria a criação de novas estruturas ou a modificação de estruturas já existente. Esta palestra é considerada o marco para o nascimento da nanotecnologia, e Richard Feynman é consagrado o pai Nantecnologia. A partir desta data os pesquisadores começaram a explorar o mundo nesta dimensão. Norio Taniguchi (1974), da Universidade de Tóquio, utilizou a palavra nanotecnologia para fazer a diferenciação entre a manipulação em escala micrométrica e o desenvolvimento e manipulação de materiais em escala nanométrica. Eric Drelex (1986) foi quem popularizou o termo nanotecnologia, escreveu o seu primeiro livro "*Engines of Creation*" (Máquinas da Criação), onde introduz o termo “nanotecnologia” para expressar a nova tecnologia em que máquinas de tamanho nanométrico manipulariam os átomos. Desde então, o significado da palavra passou a ser usado para abranger tipos mais simples de nanotecnologia. Gerd Binnig e Henrich Röhrer (1981), pesquisadores do IBM, em Zurique, criaram o microscópio de varredura por tunelamento, *Scanning Tunelling Microscope* (STM) abrindo novos caminhos na ciência do muito pequeno Este equipamento foi utilizado para estudar a superfície dos materiais a uma distância em escala atômica entre a sonda e a superfície do material. Por vezes, a sonda também era capaz de alterar a posição dos átomos presentes na superfície das amostras estudadas, demonstrando a possibilidade do rearranjo de átomos. A explosão da nanotecnologia se deu a partir da década de 80 com a criação do STM. Pesquisadores do IBM em 1989 conseguiram manipular 35 átomos de xenônio em uma placa de níquel escrevendo sua marca com a ponteira de um microscópio de varredura de tunelamento. Em 1991 foram descobertos os nanotubos de carbono (NTC). Em 2001, descoberta de método para crescimento de NTC e produtos feitos a

partir da nanotecnologia chegando ao mercado por exemplo: raquete de tênis, cosméticos, secadores de cabelo com nanop prata, dentre outros. Para o futuro teremos a cura das doenças por meio de nanorrobôs, remédios inteligentes, modelos de sistemas biológicos por meio da nanotecnologia, entre outros^(1,3,7). A evolução fará com materiais que possam ser vistos e manipulados na escala nanométrica “*top down*” ou materiais e objetos que sejam construídos a partir de nanopartículas “*botton up*”⁽¹⁾.

A interdisciplinaridade da nanotecnologia e a criação de novos produtos nas Empresas

A Nanotecnologia é uma ciência de caráter interdisciplinar que se utiliza de conhecimentos da física, química, biologia, matemática e engenharias e nas mais diversas subáreas, o que permite explorar diversas propriedades de materiais que antes ainda não eram conhecidas, proporcionando grandes avanços na Ciência e desenvolvimento de novos produtos. Várias áreas do conhecimento convergem quando manipulamos a nanoescala, tendo como consequência novos produtos e novas implicações na vida humana. Os investimentos para aplicações nesse campo tecnológico estão praticamente em todos os setores de atividade humana, o que necessariamente envolve participação da sociedade tanto para a produção quanto para o consumo de seus produtos. Diante da necessidade da criação de novos produtos, a implementação da nanotecnologia tornou-se estratégica, e mais de 12 mil empresas de 53 países empregam nanotecnologia em seus produtos^(8,9). Em razão do potencial para criação de produtos, diversas empresas no país descobriram na nanotecnologia uma oportunidade de negócio para inovar e elevar o valor agregado de seus produtos e serviços. Alguns produtos em nanoescala já estão sendo comercializados, tais como dióxido de titânio, ouro, prata e cobre que, adicionados aos plásticos, tintas e outros materiais, melhoraram o seu desempenho. Outros produtos estão próximos da comercialização, como veículos de transportes de drogas no corpo humano e nanotubos de carbono. Para permitir a ampla comercialização dos produtos baseados na nanotecnologia, deve-se procurar atender às seguintes demandas: nanossíntese: construção de blocos em nanoescala incluindo nanopartículas, nanotubos e materiais nanoestruturados; nanofabricação e nanoprocessamento: manipulação e processamento em nanoescala dos blocos construídos para uma dada finalidade; nanoincorporação: incorporação em nanoescala dos blocos até obter a forma do produto final, incluindo compósitos, materiais eletrônicos e dispositivos biomédicos e nanocaracterização - medida e caracterização das propriedades básicas dos blocos em nanoescala ou das formas dos produtos finais, assim como de processos de manufatura^(8,9).

CONCLUSÃO

A nanotecnologia proporciona a geração de novos produtos e novas oportunidades de mercado, através da integração da ciência e tecnologia. A maioria das indústrias atuais irá se beneficiar com as inovações da nanotecnologia. As colaborações e interações entre indústria, academia e instituições governamentais, em escala mundial, irão acelerar o desenvolvimento de novos produtos. Para tanto, a sociedade precisa estar preparada técnica e culturalmente para conviver com possíveis efeitos que o uso dessas novas tecnologias poderá trazer para a saúde, para a segurança e para o meio ambiente: será necessário, entre outras atitudes, participar de debates; tomar decisões sobre o que pesquisar; e, principalmente, exigir transparência de informações das pesquisas em novas tecnologias notadamente, em relação às nanotecnologias. O tradicional modelo de negócio de larga escala deverá ser revisto de modo a considerar o elevado valor agregado dos nanomateriais e o valor social deverá incluir um menor impacto ambiental na manufatura dos produtos. Os processos deverão ser mais limpos e com maior eficiência no uso da energia e, possivelmente, de novas fontes renováveis. O consumidor irá se beneficiar pela diversidade de produtos baseados na nanotecnologia, que irão melhorar a qualidade de vida das pessoas em todo o mundo.

AGRADECIMENTOS

Aos estudantes P.L.F.S, E.A.C e LM.S.S.R. que foram parte fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, e à Faperj pelo apoio financeiro dos projetos 010.002342/2019 e 010.002372/2019.

REFERÊNCIAS

1. TOMA, H.E.; O mundo nanométrico: A dimensão do novo século, SP, 2009.
2. TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. Química Nova na Escola, n. 21, p. 3-9, 2005.
3. DURAN, N; MATTOSO, LHC.; MORAIS, P.C. Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. São Paulo, Artliber, 2006.
4. NANO EACH. O que é nano. Disponível em <http://www.each.usp.br/nanoeach/> acessado em agosto de 2022.
5. ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Cartilha sobre nanotecnologia. Campinas: Unicamp/Funcamp. 2010.
6. JOACHIM.; PLEVERT, L., Nanociências- a revolução do invisível. RJ, Zahar, 2009.
7. NOVO, M.S., Nanociências, Nanotecnologia: Uma visão desde seu nascimento até a apresentação das temáticas à sociedade. Tese de Doutorado, UFRG, 2013.
8. SILVA, P.R., LOPES, J.G.S. A., Investigando a mobilização de saberes docentes em propostas de ensino sobre nanociência e nanotecnologia, REDEQUIM, 5, 151, 2019.
9. MACÊDO, MIF.; Apontamentos da disciplina “Introdução à Nanotecnologia”, UERJ, 2020.

NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY: APPROACHES, DIFFUSION, POPULARIZATION, ISSUES AND CHALLENGES IN A MULTIDISCIPLINARY AREA

ABSTRACT

Nanoscience and nanotechnology (N&N) are based on the manipulation of matter on a nanometer scale and are areas of great prominence for scientific and technological development. Scientific and technological education has been intensively discussed on a daily basis, in view of the commitment of different educational institutions to form citizens capable of understanding the world in which they are inserted. Appreciation of N&N concepts and principles is fundamental to students' scientific literacy in general. However, there is a shortage of teaching materials that address the topic with language accessible to these students. The work will present results of the analysis of the interactions between the students and the activities developed. The study and appreciation of current issues constituted a motivating approach in the discussions on such topics in the classroom. The knowledge of N&N was approached in an interdisciplinary way, involving the exact sciences and nature in an articulated way with the human and social sciences with the aim of teaching science, built from the literature review under the focus of science, technology, society and environment (CTSA), creating democratic spaces and strengthening the formation of more responsible citizens with others, with society and with the environment. It can be concluded that many activities can be inserted from the knowledge and experience of the students to the theme in order to think in a multidisciplinary way. Because several areas of knowledge converge when we manipulate the nanoscale, resulting in new products, new processes and new implications for human life.

Keywords: Nanoscience, nanotechnology, popularization, multidisciplinary.