

Universidade de São Paulo

Instituto de Física
Instituto de Química
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE
NANOCIÊNCIA E DA NANOTECNOLOGIA,
NAS AULAS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO**

Cátia Fernandes Gama

**São Paulo
2013**

Universidade de São Paulo

Instituto de Física
Instituto de Química
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE
NANOCIÊNCIA E DA NANOTECNOLOGIA,
NAS AULAS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO**

Cátia Fernandes Gama

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Pessoa Jr.

São Paulo

2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de pesquisa, desde que citada a fonte

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Gama, Cátia Fernandes

Uma proposta para o ensino de nanociência e da nanotecnologia, nas aulas de física do ensino médio – São Paulo, 2013.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Pessoa Jr.

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Nanociência; 3. Nanotecnologia; 4. Ensino médio.

USP/IF/SBI-063/2013

Agradecimentos

À minha avó Odete Fernandes pela coragem e incentivo que dedicou a mim em todas as etapas da minha vida. Aos meus pais Raquel e Roberto, minha tia Terezinha e às minhas irmãs Ilze e Margarete por incentivarem todas as minhas decisões e por admirarem meu trabalho como educadora.

Ao meu orientador Osvaldo Pessoa Jr. pela paciência e pelo apoio dedicado à construção desta dissertação e à minha formação como pesquisadora. Pelas reuniões, pelas conversas, pelo tempo dedicado a mim e principalmente pelo conhecimento compartilhado que me fez compreender a essência do trabalho de pesquisa, e que me fizeram refletir sobre minha prática como educadora.

Ao professor Luís Carlos de Menezes por sua dedicação ao ensino de física, pela motivação que trouxe às minhas aulas, à minha pesquisa e por ter estado sempre disposto a ajudar e a incentivar nos momentos mais difíceis.

Um agradecimento especial aos professores Elio Ricardo, Jesuína Pacca, Ivã Gurgel, Marcos Pimenta, Maria Cecília Salvadori e Peter Schulz, que por meio de suas questões trouxeram contribuições fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus amigos, Djalma, Leandro, Marcello, Max, Kátia, Renata, Paula e Sueli pelo apoio e por todos os momentos de discussões e indagações sobre a pesquisa e sobre a prática pedagógica.

GAMA, C. F. **Uma proposta para o Ensino de Nanociência e da Nanotecnologia, nas aulas de Física do Ensino Médio.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2013.

Resumo

O objetivo deste trabalho é investigar o ensino e aprendizado de conceitos da nanociência e da nanotecnologia no ensino médio, envolvendo o estudo dos nanomateriais e seus impactos na sociedade. Muitas vezes a percepção da nanociência e da nanotecnologia está associada a atividades científicas desenvolvidas em laboratórios sofisticados e caros, o que estabelece uma barreira para o seu ensino e aprendizagem. Sendo o carbono um elemento muito comum na natureza, o estudo das nanopartículas de carbono permite introduzir conceitos da nanociência e da nanotecnologia em sala de aula, utilizando materiais de baixo custo, e assim possibilitando a aproximação dos alunos de um dos ramos centrais da ciência atual.

Palavras-chave: ensino, aprendizagem, nanociência, nanotecnologia, nanopartículas, carbono.

GAMA, C. F. **A proposal for teaching nanoscience and nanotechnology, in high school physics classes.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2013.

Abstract

The purpose of this study is to investigate the teaching and learning of concepts of nanoscience and nanotechnology in high school, involving the study of nanomaterials and its impact on society. Many times the perception of nanoscience and nanotechnology is associated with scientific activities developed in sophisticated and expensive laboratories; this idea establishes a barrier to teaching and learning. Since carbon is a very common element in nature, the study of carbon nanoparticles allows us to introduce concepts of nanoscience and nanotechnology in the classroom, using low cost materials and, thus, making possible the approach of the students to one of the central branches of modern science.

Keywords: teaching, learning, nanoscience, nanotechnology, nanoparticles, carbon.

SUMÁRIO

Introdução	01
Cap. 1. NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA	07
1.1 Histórico dos dispositivos eletrônicos	07
1.2 O desenvolvimento da nanotecnologia	13
1.3 Nanomateriais	18
1.4 Nanoestruturas de carbono	19
1.4.1 Diamante e grafite	20
1.4.2 Fullerenos-C60	22
1.4.3 Nanotubos de carbono	24
1.4.4 Grafeno	26
1.5 A nanociência e a nanotecnologia na sociedade	29
Cap. 2. METODOLOGIA	33
2.1 Transposição didática	33
2.2 Teaching-Learning Sequences (TLS) ou Sequência de Ensino-Aprendizagem	34
2.3 Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)	36
2.4 A metodologia da pesquisa	41
2.4.1 Tomada de dados	43

LISTA DAS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGEM

	Seq. didática	Análise
1.1. Questionário sobre escalas	48	71
1.2. A espessura da folha de papel	49	73
1.3. A largura da trilha de gravação de um disco de vinil	49	73
1.4. A largura da trilha de gravação de um CD	49	73
1.5. Escala nanoscópica na ponta de um lápis	50	73
2.1. Questionário sobre átomos	52	75
2.2. Construção de um modelo científico	52	75
2.3. Movimento browniano	53	75
3.1. Questionário inicial sobre N&N	54	75
3.2. Extração do DNA do morango	54	77
3.3. Assistência e discussão de filmes relacionados com N&N	55	77
4.1. Questionário sobre mudanças de propriedades com a escala	58	81
4.2. Razão área/volume	58	83
4.3. Razão área/volume, procedimento geométrico	59	83
4.4. Acelerando reações	59	83
5.1. Obtenção do grafeno por esfoliação mecânica	60	85
5.2. Auto-arranjo e a construção <i>bottom-up</i> com blocos plásticos	60	85
5.3. Espessura de um filme fino de óleo sobre a água	61	86
6.1. Construção de um espectrômetro óptico caseiro (inic. 2.4)	64	87
7.1. Nanociência e sociedade	66	89
7.2. Feira de ciências	67	91
7.3. Avaliação do curso	68	93
Quadro das alterações feitas nas situações de aprendizagem	69	

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia (N&N) está trazendo grande impacto para a sociedade contemporânea. A nanotecnologia é caracterizada por grande abrangência e por sua natureza interdisciplinar, utilizando um conjunto de técnicas baseadas na física microscópica, na química e na biologia molecular.

Pretende-se, com a manipulação de átomos e moléculas, entender as novas propriedades da matéria e modificar a forma com que está arranjada, obtendo novos produtos mais resistentes, mais baratos, mais leves, e dessa maneira revolucionar as áreas de engenharia de materiais, eletrônica, medicina, energia, meio ambiente, biotecnologia, agricultura e segurança nacional (SILVA, C.G. 2002; ALTMANN, 2005, p. 35; SCHULZ, 2009, p. 34).

A N&N trouxe imensos e ainda não precisamente mensurados impactos científicos e econômicos, levando países de todo o mundo, especialmente os EUA, o Japão e os da Comunidade Europeia, a traçarem planos de iniciativa e financiamento privilegiados para manterem a competitividade de suas empresas no mercado. Dentre as possíveis áreas de desenvolvimento estão agricultura, energia, segurança, saúde e meio-ambiente (ABDI, 2010a).

O Brasil tem avançado no desenvolvimento da N&N em áreas como nanomateriais, nanoeletrônica, nanofotônica, nanobiotecnologia, nanoenergia e nanoambiente. Em estudo prospectivo realizado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) sobre o desenvolvimento da N&N no Brasil, concluiu-se que são condicionantes do futuro desenvolvimento da N&N, entre os anos de 2011 e 2015, a educação em todos os níveis, a difusão científica, a discussão de nanoética, a continuidade da N&N como prioridade de estado, entre outros (ABDI, 2010a). No entanto, a N&N ainda é um assunto pouco debatido nas escolas de nível médio no Brasil.

Ao inserir conceitos na N&N nas aulas de física do ensino médio, buscamos contribuir para o item da educação e também o da discussão de nanoética, ou seja, buscamos articular na sala de aula o conhecimento da física moderna presente na manipulação e “visualização” dos átomos, além de

discutir a construção de nanomateriais, e também tratar das questões relacionadas à introdução dos nanomateriais na sociedade e suas possíveis relações com o cotidiano dos alunos.

O ensino de física nas escolas públicas tende a tratar de conceitos de forma disciplinar e não relacionados ao cotidiano dos alunos. Na busca do desenvolvimento de uma reflexão científica e tecnológica, consideramos importante explorar as interações dessas áreas com a sociedade. O estudo do desenvolvimento científico da N&N e de suas implicações sobre a realidade do aluno é um excelente tema de investigação no ensino médio, permitindo tecer conexões entre diferentes contextos, estimulando a interdisciplinaridade, a criatividade, a curiosidade, o senso crítico e o desenvolvimento da cultura científica. Podemos construir relações entre os princípios da física moderna presentes no cotidiano do aluno, desde o uso de um lápis (com sua ponta de grafite), até a utilização de *pen drives*, celulares, *i-pods*, permitindo que os alunos compreendam melhor as mudanças culturais decorrentes das transformações tecnológicas, envolvendo a N&N, presentes na sociedade atual.

A necessidade de renovação curricular, envolvendo os aspectos modernos da ciência, vem sendo discutida desde o final de 1980 por profissionais da educação (GIL et al., 1988; FISCHLER & LICHTFELDT, 1992; OSTERMANN, FERREIRA & CAVALCANTI, 1998; PINTO & ZANETIC, 1999; OSTERMANN & CAVALCANTI, 1999; OSTERMANN & MOREIRA, 2000, 2001; PIETROCOLA & AZEVEDO, 2005; OSTERMANN, 2006). A inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, por meio dos conteúdos de Física mais recentes, proporciona a divulgação de pesquisas avançadas, assim como discussões sobre as fronteiras da Ciência e da Tecnologia, o que de certa forma faz com que o aluno tenha um novo olhar para o mundo que o cerca.

A reformulação do ensino médio no Brasil, estabelecida pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996, regulamentada em 1998 pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), trouxe uma nova orientação para a educação brasileira, como descreve as Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN⁺):

A presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCN. Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade (BRASIL, 2002, p. 76).

Com a inclusão da Física na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, nas PCN⁺, sua presença no ensino médio passou a ter um novo sentido, pois espera-se que o aluno, ao concluir o ensino médio, esteja apto para reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social, cultural e ambiental. Assim, visa-se que o aluno possa compreender as formas pelas quais a Física e as tecnologias influenciam nossa interpretação do mundo atual, e também possa lidar, em certa medida, com as novas tecnologias que povoam o imaginário e a cultura contemporânea (BRASIL, 2002). Portanto, é necessário inserir temas contemporâneos já no ensino médio.

A inserção da educação em nanociência e em nanotecnologia vem sendo discutida por diversos autores, como SCHULZ (2007a), SILVA et al. (2009), e VALADARES et al. (2005). Em março de 2009 foi lançado o primeiro volume da revista *Journal of Nano Education*, que traz artigos relevantes como os de HEALY (2009), que aborda a questão do porque da educação em nano, HOOVER et al. (2009), que discutem os efeitos da inclusão didática da nanotecnologia sobre os aspectos da interdisciplinaridade, e das questões éticas e sociais, e ALFORD et al. (2009), que tratam da abordagem da nanotecnologia no colégio secundário St. Helena, na Austrália.

Em diversos países, a N&N é considerada como área prioritária e estratégica para a pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico, sendo essencial que os alunos do ensino médio entendam suas potencialidades e os efeitos da N&N que já estão presentes em seu cotidiano, em produtos como protetores solares, telefones celulares, tecidos, medicamentos, combustíveis, etc. Alguns países já inseriram o estudo da N&N desde o ensino fundamental

até o ensino médio (DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE, 2003), devido à sua relevância para a formação de um cidadão contemporâneo.

No Brasil há alguns cursos de graduação em Nanociência e Nanotecnologia. Devido a seu grande impacto econômico e industrial, o programa Sesi/Senai – SP iniciou em 2012 cursos de educação em Nanociência e Nanotecnologia, que pretendem abranger os alunos do ensino fundamental e do ensino médio do Sesi e também dos cursos técnicos, tecnológicos e superiores (Senai). Para o desenvolvimento do curso, importou dos Estados Unidos o conjunto “Nanoprofessor”, constituído por microscópio de fluorescência, microscópio de força atômica e uma proposta didática completa para o ensino da matéria.

Ao acompanhar o desenvolvimento das novas tecnologias, na área de engenharia, dos microcomputadores, e da telefonia celular, entre outros, o aluno estará mais próximo de sua própria realidade, o que lhe facilitará o entendimento das discussões sobre os fatos e acontecimentos contemporâneos, frequentemente divulgados pela mídia. Dessa forma, espera-se que o ensino em nanociência e nanotecnologia, levado aos alunos nas escolas públicas de nível médio, contribua para integrá-los ao mundo contemporâneo e para a formação de um cidadão crítico.

Em vista disso, o objetivo deste trabalho é investigar como introduzir conceitos da nanociência e da nanotecnologia no ensino médio, e como avaliar, por meio de métodos da área de ensino e aprendizagem, o sucesso de tal introdução.

A seguir apresentaremos os capítulos que compõem o presente trabalho. No capítulo intitulado “Nanociência e Nanotecnologia”, faremos um breve histórico sobre o desenvolvimento dos dispositivos eletrônicos e sobre o desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia, discutindo também o desenvolvimento dos nanomateriais e temas sobre a nanoética. No capítulo 2, descrevemos a construção da sequência didática a partir da perspectiva da Teaching-Learning Sequences (TLS) e da abordagem de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS); também neste capítulo detalhamos os procedimentos metodológicos utilizados durante a pesquisa e para a obtenção dos dados da pesquisa. No terceiro capítulo detalhamos a construção da sequência didática inicial e reformulada com suas respectivas atividades. No capítulo 4

apresentamos os resultados obtidos na aplicação da sequência didática inicial e reformulada, e suas respectivas análises. No último capítulo fazemos as considerações finais e apresentamos possíveis direcionamentos deste trabalho.

CAPÍTULO 1

NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

Pode-se definir nanociência como a ciência relacionada à manipulação da matéria ao nível molecular, que busca entender as mudanças de comportamento de materiais que ocorrem na escala nanoscópica. A nanotecnologia aproveita a criação de novos materiais para desenvolver novos produtos e dispositivos. O prefixo grego “nano”, que significa anão, é utilizado para especificar um bilionésimo (10^{-9}), assim um nanômetro é 10^{-9} m, ou seja, um bilionésimo de metro, que representa nove ordens de grandeza menor que o metro. Não há sempre uma distinção clara entre as pesquisas de nanociência e de nanotecnologia, termos que muitas vezes aparecem como que fundidos no termo “nanotecnociência”.¹

A seguir faremos um esboço histórico do desenvolvimento da nanociência, partindo da miniaturização dos dispositivos eletrônicos.

1.1. Histórico dos dispositivos eletrônicos

Pode-se considerar que o caminho histórico para a nanociência, trilhado por procedimentos de miniaturização, tenha se iniciado com a miniaturização dos dispositivos eletrônicos, da válvula de vácuo até o transistor de semicondutor. Assim, vale a pena retrair esta história dos dispositivos eletrônicos, que acaba desembocando em uma das grandes áreas N&N, que é a nanoeletrônica e os nanomateriais associados. Nesta evolução histórica, ocorreram verdadeiras revoluções tecnológicas, resultando no que são às vezes chamadas de “tecnologias disruptivas” (SCHULZ, 2005), que envolvem a transformação de grande parte do processo de fabricação. Isso ocorreu com o surgimento do transistor, e começa a acontecer agora com a nanotecnologia. O roteiro histórico apresentado a seguir é apenas um dos vários caminhos que

¹ Termo citado por SCHULZ (2007, p.1) em referência ao título do livro *Nanotecnociencia: nociones preliminares sobre el nanocosmos* (vários Autores, 2007).

desembocaram na N&N – deixaremos de lado os caminhos que envolveram outras tecnologias, tanto da física quanto das áreas químicas e biomédicas.

O desenvolvimento dos dispositivos eletrônicos, em torno das características dos materiais semicondutores, pode ser dividido historicamente em duas partes. A primeira tem início no século XVIII com as primeiras investigações em torno da condução elétrica em diferentes materiais, terminando em 1939 com o início da Segunda Guerra Mundial. A segunda teve início com o fim da Segunda Guerra Mundial em 1945 e perdura até os dias de hoje (JENKINS, 2005).

Em 1731, Stephen Gray demonstrou que a eletricidade estática era transportada por uma gama de materiais interligados entre si. Esta descoberta permitiu a Jean Théophile Desaguliers, em 1743, introduzir o conceito de condutor, e a Alexandro Volta, em 1782, distinguir e classificar diferentes materiais de acordo com sua condutividade (JENKINS, 2005; KHAN, 2010).

Em 1833, Michael Faraday descobriu um comportamento especial num composto de sulfato de prata. Faraday verificou que a resistência à passagem de corrente elétrica do composto diminuía quando a temperatura aumentava (sendo posteriormente verificado como um comportamento típico dos semicondutores). Em 1839, Alexander Edmond Becquerel, ao estabelecer o contato entre um semicondutor de cloreto de prata e um condutor de prata, descobriu o efeito fotovoltaico em eletrodos de platina cobertos por cloreto de prata. Essas descobertas deram importante contribuição para o estudo da física dos semicondutores (JENKINS, 2005).

Frederick Guthrie, em 1873, descobriu que um eletrodo com cargas positivas podia ser completamente descarregado quando colocado perto de um pedaço de metal quente, sem que houvesse contato físico entre eles. Constatou que se aplicasse uma tensão negativa ao mesmo eletrodo, este efeito não era verificado, fato que indicava que a corrente fluía apenas em um sentido. Esse efeito ficou conhecido efeito termiônico, sendo a base para o desenvolvimento dos diodos termiônicos, sendo redescoberto por Thomas Edison, em 1880. Ainda em 1873, Willoughby Smith descobriu a fotocondutividade do selênio (JENKINS, 2005; KHAN, 2010; SWART, 2010).

Trabalhando no aprimoramento de sua lâmpada, Edison constatou que a corrente elétrica poderia ser extraída do filamento incandescente e

transportada, através do vácuo, até à placa de metal. Contudo, este efeito só ocorria quando era aplicada uma tensão positiva aos terminais da placa de metal. Estes fenômenos foram os primeiros indícios que permitiram afirmar que o comportamento do diodo tinha sido descoberto, embora não se sabia qual seria sua utilidade (JENKINS, 2005; KHAN, 2010).

Essas descobertas constituíram a base para o desenvolvimento dos dispositivos eletrônicos. No início de 1874, o alemão Karl Ferdinand Braun, durante seus primeiros anos como professor, dedicou seus estudos às propriedades elétricas dos compostos de sulfato de chumbo e sulfato de cobre. De seu trabalho resultou o desenvolvimento de um retificador construído com um cristal de sulfato de chumbo. Após a realização de algumas experiências com este retificador, foi possível comprovar que a corrente elétrica fluía de maneira diferente de acordo com o sentido da diferença de potencial aplicada na alimentação desse dispositivo. Esta descoberta de Braun contrariava a lei de Ohm, que afirmava ser a diferença de potencial entre dois pontos de um condutor proporcional à corrente que o percorre. A descoberta de Braun mostrava que a corrente elétrica fluía de maneira diferente de acordo com o sentido da diferença de potencial (JENKINS, 2005; KHAN, 2010; SWART, 2010).

Braun implementou um retificador que ficou conhecido como *cat's whisker rectifier*, retificador “bigodes de gato”. Este desempenhou um papel muito importante no desenvolvimento de radares utilizados na Segunda Guerra Mundial. Outros fenômenos de retificação foram observados, ainda em 1874, por Arthur Schuster e por Charles Edger Fritts, em 1876, confirmando a descoberta de Braun e impulsionando as pesquisas na área (JENKINS, 2005).

Ao longo do tempo, foram obtidos resultados e descobertas importantes, como a primeira pilha solar de selênio, criada por Fritts, em 1878 (JENKINS, 2005; KHAN, 2010, SWART, 2010).

O efeito Hall, estabelecido pelo físico que lhe deu o nome, Edwin Herbert Hall, em 1879, aparece como um marco importante na história dos semicondutores. Hall aproveitou um estudo deixado pelo seu professor H. Rowland, que visava pesquisar o efeito da aplicação de um campo magnético perpendicular à direção na qual se faz o fluxo da corrente. Descobriu que este campo provocava um desvio nas cargas carregadas, criando uma diferença de

potencial. No entanto, o efeito Hall não foi interpretado como nos dias de hoje, pois não se conhecia a natureza das cargas (elétricas) estudadas (JENKINS, 2005; SWART, 2010).

No ano de 1897, Joseph Thompson anunciou a descoberta do elétron e explicou que a corrente elétrica viajava através do espaço, em um determinado sentido e em tubo de vácuo, corroborando o efeito de Edison. Em 1904, John Ambrose Fleming, enquanto estudava o efeito de Edison, patenteou um dispositivo que é conhecido como sendo o primeiro dispositivo eletrônico: a válvula de Fleming, Diodo de Vácuo ou Válvula Termiônica (JENKINS, 2005; KHAN, 2010; SWART, 2010).

Um caminho paralelo que também levou à descoberta do semicondutor foi traçado por H. Hertz, em 1887, que verificou a existência de ondas sem fio. Jagadish Chandra Bose, cientista indiano, efetuou experiências com ondas curtas de 60 GHz, com o objetivo de medir suas propriedades ópticas. Bose inventou o primeiro detetor de estado sólido com diodo de contato em ponto, provavelmente inventado entre 1899 e 1900, e patentado em 1904 nos EUA. Enquanto isso, Braun começou o experimento com telégrafos sem fio e, em 1901, usou seu retificador para receber sinais de onda sem fio. Estudos posteriores levaram à estrutura “ferro-mercúrio-ferro”, que se tornou famosa quando utilizada por Marconi para receber a primeira transmissão transatlântica, em 1901 (OKA, 2000; JENKINS, 2005; KHAN, 2010).

Em 1906, Lee de Forrest criou um novo tipo de diodo, o triodo. Este era composto por mais um eletrodo, sob a forma de uma grade de fios, entre o filamento (cátodo) e a placa de metal (ânodo). A introdução deste terceiro eletrodo permitiu que a corrente do ânodo fosse controlada independentemente por meio da aplicação de uma pequena tensão entre o cátodo e o eletrodo extra, dessa forma podendo amplificar os sinais elétricos (OKA, 2000; KHAN, 2010).

De início, a pesquisa com semicondutores não ameaçava a importância das válvulas, mas hoje sua necessidade é indiscutível. O início do século XX revelou-se fundamental para o desenvolvimento da microeletrônica e, sobretudo dos dispositivos semicondutores. Havia necessidade de desenvolver teorias que fossem capazes de explicar os fenômenos descobertos e

sustentassem o funcionamento dos componentes (CHIQUITO & LANCIOTTI, 1998; KHAN, 2010).

A teoria da mecânica quântica desenvolvida durante a década de vinte pelos físicos Bohr, de Broglie, Heisenberg e Schrodinger, foi, então a chave encontrada para o estudo da eletrônica, sendo a partir dela possível desenvolver conceitos de bandas de energia, bandas proibidas, bandas de valência, portadores, etc. Em conjunto com a teoria quântica dos sólidos, liderada por Peierls, Wilson, Mott, Franck, entre outros, foi possível compreender a condutividade eletrônica em metais e permitir desenhar uma imagem da estrutura eletrônica dos mesmos (JENKINS, 2005; KHAN, 2010).

Em paralelo ao desenvolvimento teórico, foi proposto por Lilienfeld, em 1926, o primeiro conceito de um transistor de efeito de campo, conhecida ainda hoje por FET (*field effect transistor*). Lilienfeld descobriu que a aplicação de uma tensão elétrica num metal de fraca condutividade iria mudar sua capacidade de condução, alcançando-se, assim, a amplificação. Embora ele tenha patenteado este conceito, ninguém, nem ele próprio, conseguiu na época tirar qualquer proveito (CHIQUITO & LANCIOTTI, 1998; JENKINS, 2005; KHAN, 2010).

No ano de 1936, Mervin Kelly decidiu criar um grupo de investigadores nos laboratórios Bell. O grupo era formado por investigadores como William Shockley, Russel Ohl, Jack Scaff, entre outros. Kelly tinha o pressentimento de que os retificadores de vácuo não eram a última descoberta da eletrônica. Em 1940, Ohl, na tentativa de compreender os cristais de silício, percebeu que, dependendo da forma como são preparados (qualidade e quantidade de impurezas), podem fornecer retificadores positivos (p) ou negativos (n), de acordo com os quais era obtida a retificação, sendo a última descoberta antes do início da Segunda Guerra Mundial (JENKINS, 2005).

Com o início da Segunda Guerra, em 1939, o grupo dos laboratórios Bell dedicou-se ao estudo e construção de dispositivos para o uso em combate, como equipamentos de radar.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, em 1946, Kelly reuniu outra equipe de investigadores liderados por Shockley e Morgan Stanley. A equipe era constituída por Walter Brattain, John Bardeen, John Pearson, Bert Moore e Robert Gibney. O primeiro passo importante do grupo foi considerar o silício e

o germânio como materiais semicondutores mais simples, optando-se por focalizar o estudo apenas nestes. Bardeen compreendeu os efeitos de campo e mostrou, por meio de cálculos, que a aplicação de uma tensão em um material semiconductor implicava em uma mudança de sua condutividade (JENKINS, 2005; KHAN, 2010, SWART, 2010).

Foi em dezembro de 1947 que Bardeen e Brattain apresentaram o primeiro transistor. Ironicamente, o objetivo era fabricar um FET, mas acabaram por descobrir que a corrente de saída era maior do que a corrente de entrada, ou seja, tinham descoberto o fenômeno de amplificação (JENKINS, 2005; KHAN, 2010).

A repercussão desta descoberta não foi tão grandiosa como se poderia imaginar, foi feita a aplicação deste novo dispositivo em equipamentos baseados em válvulas, como amplificadores e osciladores. Mas o dispositivo construído por Bardeen e Brattain tinha sérios problemas relacionados com a estabilidade e reprodutibilidade dos contatos elétricos, o que impedia sua aplicação como substituto das válvulas em circuitos comerciais (CHIQUITO & LANCIOTTI, 1998; JENKINS, 2005).

Apenas em 1949, William Shockley, responsável pelo grupo de pesquisa em semicondutores nos Laboratórios Bell, aperfeiçoou o transistor de contato de ponto, desenvolvendo o transistor de junção bipolar, baseado no conceito de dopagem em semicondutores, o qual ele mesmo ajudou a esclarecer e a desenvolver. Com este novo formato os transistores poderiam ser comercializados, como ocorreu na década de 50 (CHIQUITO & LANCIOTTI, 1998; JENKINS, 2005; KHAN, 2010).

Em 1956, Bardeen, Brattain e Shockley receberam o Prêmio Nobel de Física pela descoberta e aperfeiçoamento do transistor. Bardeen e Brattain seguiram na pesquisa básica de Física de Estado Sólido, enquanto que Shockley voltou-se para a indústria, criando a empresa *Shockley Semiconductor Co.*, que posteriormente deu origem à *Intel* (CHIQUITO & LANCIOTTI, 1998; JENKINS, 2005).

Um fato que contribuiu bastante para o desenvolvimento dos semicondutores foi que os Laboratórios Bell venderam as licenças para a produção de transistores a outras empresas. Assim, empresas como a Texas Instruments e a Sony compraram licenças para usar a tecnologia para fabricar

transistores. Como consequência desta interação, o mercado de consumo para os mesmos começou a desenvolver. Neste campo, destaca-se a Sony como sendo a primeira empresa a comercializar um rádio totalmente transistorizado (CHIQUITO & LANCIOTTI, 1998; JENKINS, 2005, KHAN, 2010).

Houve grande interesse por parte dos cientistas e empresários do mundo todo, estabelecendo-se uma forte relação entre indústria e pesquisa científica, e os subsídios para o progresso nas aplicações do transistor impulsionaram não somente seu desenvolvimento, como também o surgimento de novos dispositivos baseados em materiais semicondutores.

Controlados os processos de fabricação de transistores, nasce a ideia de criar um circuito que fosse capaz de integrar vários componentes eletrônicos. Este conceito foi proposto por Jack Kilby, investigador da Texas Instruments (TI), em 1958. Kilby demonstrou sua ideia por meio de um circuito fabricado em cima de um único bloco de silício, contendo um transistor, um condensador e uma resistência (CHIQUITO & LANCIOTTI, 1998; JENKINS, 2005).

A descoberta do transistor trouxe uma grande revolução na ciência e tecnologia, sendo que a maioria dos equipamentos eletroeletrônicos que dispomos é baseada em transistores ou em seus derivados diretos, como os circuitos integrados. Os processos de micromanipulação, para a fabricação e desenvolvimento dos circuitos integrados e de dispositivos opto-eletrônicos, são os precursores da nanociência e da nanotecnologia como atividade científica (SCHULZ, 2007).

1.2 O Desenvolvimento da nanotecnologia

Em 1959, Richard Feynman ministrou uma palestra intitulada “Há espaço de sobra lá em baixo”, no encontro da American Physical Society no California Institute of Technology (Caltech). Esta palestra é considerada por muitos (REGIS, 1997; ALVES, 2004; MELO & PIMENTA, 2004; WOLF, 2009) como o nascimento da nanotecnologia como atividade científica. Nesta palestra, Feynman afirmou: “não tenho medo de considerar no futuro longínquo a possibilidade de podermos arranjar átomos da maneira que quisermos”,

levando ao público científico uma ideia revolucionária para a época, quando as técnicas de manipulação artificial de átomos e moléculas estavam ainda engatinhando, e a ideia de usar isso para a criação de novos produtos ou para a cura de doenças era simplesmente visionária (FEYNMAN, 1992).

Apesar do interesse pela aplicação da Nanociência em Nanotecnologia serem recentes, estruturas nanométricas complexas estão presentes na natureza há bilhões de anos, desde quando os átomos e moléculas começaram a se organizar em estruturas mais complexas que deram origem à vida (WOLF, 2009; PIMENTA & MELO, 2004).

Ao olharmos para o passado, os primórdios da nanociência, somos remetidos há mais de dois mil anos quando Leucipo e Demócrito pensavam no átomo como constituinte da matéria. Na antiga civilização egípcia, quando as pessoas incorporavam cores ao vidro, eles estavam trabalhando, sem saber, com nanopartículas (SILVA, 2004; MARTINS, 2006).

A grande ruptura que a nanotecnologia traz é a possibilidade de construir objetos a partir de átomos. No entanto a ideia do átomo ainda não era consenso na comunidade científica no início do século XX, pois ainda não havia evidências científicas conclusivas para a existência dos átomos (SCHULZ, 2007).

A teoria atômica começou a ter uma maior expressão científica em 1799, a partir de uma hipótese empírica, a lei de Proust das proporções definidas, e com a publicação da obra de John Dalton no início da década de 1800, intitulada *A New System of Chemical Philosophy*, na qual tentou explicar, por meio de desenhos, como os átomos se uniriam para formar moléculas. Ainda assim, muitos cientistas, inclusive químicos, duvidavam da existência do átomo, pois eles seriam totalmente inobserváveis, pequenos demais para serem vistos com uma lente de aumento, microscópio ou por qualquer outro meio (REGIS, 1997; SALMERON, 2006).

Por volta de junho de 1827, o “movimento browniano” foi verificado pela primeira vez por Robert Brown, quando observou alguns grãos de pólen com um microscópio. Relatou ele, ao examinar o comportamento destas partículas imersas na água: “observei muitas delas evidentemente em movimento [...] Estes movimentos eram tais que fiquei convencido, após observações frequentemente repetidas, de que não se originavam das correntes no fluido

nem de sua evaporação gradual, mas pertenciam à própria partícula”. Brown tentou descobrir a fonte deste movimento, que parecia ter existência geral nos corpos inorgânicos, assim como em corpos orgânicos, mas não chegou a conclusão alguma (REGIS, 1997).

Somente em 1905, Albert Einstein encontrou, teoricamente, a causa do movimento browniano. Segundo Einstein, sua origem seria o movimento atômico das moléculas da água, pois embora as moléculas fossem individualmente muito pequenas para serem vistas, seus movimentos eram suficientemente fortes para fazer com que partículas muito maiores, suspensas entre elas, adquirissem movimentos visíveis por meio das colisões, evidenciando sua existência na forma de energia térmica (REGIS, 1997; SALINAS, 2005).

A prova experimental a favor da teoria de Einstein sobre o movimento browniano foi encontrada em 1908, pelo físico experimental Jean Perrin, que ao utilizar um microscópio de fenda para observar a distribuição de partículas de goma-bruta (glóbulos de seiva brilhantes, de coloração laranja) na água, observou quase a mesma coisa que Robert Brown observara há 75 anos, mas com a diferença que pôde distinguir as partículas individuais em movimento e as fotografar, o que permitiu que as contasse uma a uma. Sua contagem confirmou as previsões de Einstein de que haveria mais partículas no fundo do recipiente do que em cima, devido à energia térmica. Assim, os resultados obtidos empiricamente tornaram-se uma forte evidência para a existência dos átomos e mostraram que suas vibrações térmicas, sem direção privilegiada, eram o que mantinha as partículas de goma dispersas em meio ao líquido (REGIS, 1997; SALINAS, 2005).

No entanto, mesmo com estas descobertas, ainda não havia instrumentos para de fato observar os átomos, o que ainda os mantinha, de certa forma, obscuros para as escalas humanas. As primeiras imagens mostrando átomos individuais foram obtidas com o microscópio iônico de campo (*field ion microscope - FIM*), construído por Erwin W. Müller, físico alemão da Penn State University. A observação foi feita em 1955, juntamente com seu aluno indiano, Kanwar Bahadur, representando o primeiro grande passo para a superação do paradigma de que os átomos seriam pequenos

demais para serem de alguma forma individualmente identificados (REGIS, 1997; CASTILHO, 2003).

A ideia de podermos criar nanossistemas artificialmente por meio da manipulação de átomos e moléculas foi popularizada por Eric Drexler, a partir da publicação de seu livro *Engines of Creation*, no qual discute a possibilidade de construção de novos dispositivos átomo a átomo, que revolucionariam a vida humana (REGIS, 1997; TOMA, 2009).

Há bilhões de anos, átomos e moléculas começaram a se organizar em estruturas complexas autoreplicativas, ácidos nucleicos como RNA e DNA, constituindo o passo fundamental para o surgimento da vida. De fato, o surgimento das células, com toda a sua complexidade e auto-organização, é um exemplo de nanossistemas biológicos que evoluíram na natureza.

Na cultura humana, um dos primeiros exemplos de processos envolvendo isolamento de moléculas foi com a tinta nanquim, produzida pelos chineses há cerca de 2 mil anos. O nanquim é constituída de partículas nanométricas de grafite suspensas em água. Os chineses descobriram empiricamente que a adição de goma arábica à emulsão impede que as partículas de grafite se juntem (ALVES et al., 2005).

Outro exemplo notável são os vitrais das igrejas medievais. Os vidreiros da época descobriram que a adição de partículas de ouro ou prata de diversos tamanhos aos vidros tinha a característica de tornar as cores dos vidros variáveis e brilhantes. Tal efeito óptico é causado por nanopartículas compostas desses metais. O exemplo mais antigo desta técnica é o cálice de Licurgo, que remonta ao século IV D.C. Esse cálice romano é feito de vidro que parece verde sob luz refletida, mas é vermelho sob luz transmitida através dele (SCHULZ, 2005; ALVES et al., 2005).

Colóides são misturas homogêneas de duas fases, uma fase dispersa e uma fase contínua. A fase dispersa é constituída por pequenas partículas cujo tamanho varia entre nm e micron. Sistemas coloidais, que vêm sendo estudados desde meados do século XIX, são exemplos de nanociência (SCHULZ, 2005).

Em 1981, no laboratório da IBM em Zurique, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer construíram o microscópio de varredura por tunelamento eletrônico (*scanning tunneling microscope* – *STM*), e com ele mais um limite humano foi

superado, possibilitando pela primeira vez a geração de imagens detalhadas de superfícies com resolução atômica. Em 1986, Binnig e Rohrer receberam o prêmio Nobel de física pelo desenvolvimento do STM (REGIS,1997; CHAVES, 2002; ALVES, 2004; MELO & PIMENTA, 2004).

O funcionamento do microscópio de tunelamento por varredura é conceitualmente simples: uma agulha extremamente fina, cuja ponta é constituída de alguns poucos átomos ou até mesmo de um único átomo, “tateia” uma superfície condutora ou semicondutora sem nela tocar, dela afastada de menos de um nanômetro. Durante a varredura da agulha, quando aplicada uma diferença de potencial elétrico entre a amostra e a ponta, ocorre a passagem de uma corrente de tunelamento entre a agulha e a superfície e, com base nessa minúscula corrente elétrica, um computador constrói uma imagem extremamente magnificada da superfície, na qual ficam visíveis os seus átomos. Dessa forma, pela primeira vez o relevo atômico da superfície de um corpo pôde ser “visto” e investigado (SILVA, 2002; CHAVES, 2002; WOLF, 2009; SALVADORI, 2011).

O STM deu origem a uma família de instrumentos de visualização e manipulação na escala atômica, coletivamente denominados microscópios eletrônicos de varredura (*scanning probe microscopes – SPM*), que constituem o paradigma atual para a instrumentação em nanociência. Além da visualização nanométrica da superfície, os *SPMs* permitem “manipular” átomos e moléculas. Esses feitos foram demonstrados em 1990, quando Donald Eigler e Erhard Schweizer, do laboratório da IBM em Almaden, Califórnia, escreveram o logotipo da IBM posicionando precisamente 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel (CHAVES, 2002; MELO & PIMENTA, 2004).

A nanotecnologia e nanociência (N&N) causarão um grande impacto na comunidade acadêmica, com grandes perspectivas de mudança para a sociedade e também em termos econômicos, levando a maioria dos países a desenvolver iniciativas nacionais ou regionais privilegiadas para o seu desenvolvimento. Os países que mais investem na pesquisa em N&N são os EUA, o Japão e os da Comunidade Europeia (MCT, 2006).

Segundo estudo bibliométrico publicado pela Science-Metrix em 2008, referente aos trabalhos científicos indexados na base de dados internacional Scopus no campo de nanociência, entre 1996 e 2006, do total de

aproximadamente 379.000 trabalhos publicados desde 1996, os EUA destaca-se com 102.000 trabalhos, correspondendo a 27% da produção mundial. O Japão e a Alemanha apresentaram respectivamente 13% e 10% da produção mundial. O Brasil participa da produção científica mundial em nanociência, com 4.358 trabalhos publicados entre 1996 e 2006 e ocupando a 20ª posição do ranking (ABDI, 2008).

1.3 Nanomateriais

O estudo dos nanomateriais é um dos mais desenvolvidos na nanociência, e que trouxe inúmeros avanços para o desenvolvimento da nanotecnologia, com diversas aplicações na área da saúde e para a construção de dispositivos eletrônicos.

O grande interesse pelo desenvolvimento de nanomateriais reside no fato de que novas propriedades físicas e químicas, ausentes no mesmo material na escala macroscópica, surgem na escala nanoscópica (MELO & PIMENTA, 2004; WOLF, 2009).

Na realidade, a alteração das propriedades de um material ao atingir a escala nanométrica se deve à combinação de dois fatores. Em primeiro lugar, observa-se que quanto menor for o tamanho da amostra, mais importantes se tornam os efeitos de superfície, pelo aumento da proporção entre sua área e seu volume. Além disso, alguns efeitos quânticos se manifestam de maneira mais evidente em nanopartículas, como o efeito túnel e o confinamento quântico. Efeitos como a supercondutividade, maior resistência e maleabilidade só são identificados em alguns materiais quando são reduzidos à escala nanoscópica (MELO & PIMENTA, 2004; TOMA, 2009).

Existem dois procedimentos gerais para obtenção de materiais em escala nanométrica. O primeiro procedimento é conhecido como *top-down* (de cima para baixo), no qual um objeto nanométrico é obtido pela eliminação do excesso de material existente em uma amostra maior do material (ALVES, 2004; WHITESIDES & LOVE, 2008).

O segundo que se institui como o conceito essencial da nanociência é o procedimento *bottom-up* (de baixo para cima), às vezes denominado como

“nanotecnologia molecular”, que consiste na criação de estruturas orgânicas, inorgânicas, e mesmo híbridas, átomo por átomo, molécula por molécula (ALVES, 2004; WHITESIDES & LOVE, 2008). Arthur Von Hippel, a partir de 1959, foi o pioneiro nesta linha de abordagem da química dos materiais, com técnicas de deposição de filmes por vaporização ou por decomposição de vapores químicos (TOMA, 2009).

A possibilidade da auto-organização de átomos e moléculas foi demonstrada em 1974, por Ari Aviram e Phillip Seiden, da IBM, que desenvolveram a primeira patente de eletrônica molecular ao utilizar moléculas isoladas em operações de propagação e sinais. Em seu livro *Engines of creation* (1986), Eric Drexler discute a possibilidade de se construir uma nanomáquina que pudesse organizar moléculas e construir os produtos que quisemos (SCHULZ, 2005; TOMA, 2009).

1.4 Nanoestruturas de carbono

As nanoestruturas de carbono apresentam-se como os nanomateriais de maior aplicação em nanotecnologia, devido às suas propriedades eletrônicas e estruturais singulares e seu potencial para o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos. A seguir definiremos o elemento químico carbono, o diamante e o grafite, e faremos um breve histórico do desenvolvimento das nanoestruturas de carbono e de suas possíveis aplicações.

O carbono é um elemento químico bem conhecido, de número atômico 6 (ou seja, possui 6 prótons em seu núcleo) e massa atômica 12 (ou seja, em média o carbono possui 12 núcleons, isto é, prótons e nêutrons), e sólido à temperatura ambiente. Possui diversas formas alotrópicas (ou seja, o mesmo elemento pode se organizar de diferentes maneiras, gerando diferentes substâncias): carbono amorfo, grafite, diamante, fulerenos (que incluem nanotubos e grafeno), entre outras (KROTO, 1985; IIJIMA, 1991; NOVOSELOV et al., 2005; DUTRA, 2010).

O carbono destaca-se dentre os elementos químicos, formando inúmeros compostos, e sendo o pilar básico da química orgânica. Por fazer

parte de todos os seres vivos conhecidos, costuma-se dizer que a vida seria impossível sem o carbono (GEIM & KIM, 2008; KRUEGER, 2010).

O carbono é um elemento tão versátil devido aos diferentes tipos de “hibridização” que seus orbitais de valência formam. A hibridização é o processo de formação de orbitais híbridos, que são combinações dos orbitais puros, denotados pelas letras *s*, *p*, *d* e *f*. Um átomo de carbono isolado pode ser descrito pela configuração eletrônica de seu estado fundamental: $1s^2 2s^2 2p^2$. Isso indica que há dois elétrons na camada 1, com momento angular total nulo (o que é indicado pela letra *s*), e quatro na camada 2, a camada de valência. Destes quatro elétrons na camada de valência, dois têm momento angular total nulo, e dois têm momento angular total $1\hbar$ (onde \hbar é a constante de Planck dividida por 2π), indicado pela letra *p*. Porém, quando o carbono se combina com outros átomos, a melhor descrição do estado de seus elétrons é como uma combinação ou superposição dos estados *s* e *p*. No caso do carbono, há três formas diferentes de hibridização, denotadas por sp , sp^2 e sp^3 (BERGOLI, 2009; KRUEGER, 2010).

A partir de 1985, passou-se a descrever uma nova família alotrópica do carbono, conhecida genericamente como “fulerenos”. O primeiro fulereno a ser descrito é tecnicamente conhecido como buckminsterfulereno, buckybola, fulereno-C60, ou às vezes simplesmente “fulereno”. A seguir, iremos destacar as características da buckybola e de duas outras formas alotrópicas do carbono (também membros da classe de fulerenos): os nanotubos de carbono e o grafeno (BERGOLI, 2009).

1.4.1 Diamante e grafite

O carbono é nosso conhecido do carvão e da fuligem negra de certas chamas. Ele também é o elemento presente na grafite dos lápis e lapiseiras. A grafite, que é encontrada em minas no sul do Brasil e em outras partes do globo, é formada por camadas planares de átomos, ligados em uma estrutura hexagonal, lembrando alguns tipos de tela de galinheiro, camadas essas que isoladamente se chamam “grafeno”. Na grafite, essas camadas são empilhadas, e a ligação atômica entre as camadas é mais fraca do que dentro

de uma mesma camada de grafeno, que possui uma estrutura extremamente estável, nas condições normais de temperatura e pressão (Fig. 1).

O carvão e a fuligem não têm uma estrutura tão ordenada, e podem ser considerados “amorfos”, que significa sem forma definida. Porém, pode-se considerar que o carvão e a fuligem são constituídos de minúsculos pedacinhos de grafite, quebrados e misturados sem ordenação.

Parece incrível que o diamante, tão duro e transparente, seja constituído do mesmo elemento que a grafite, que é preto e maleável. De fato, é possível transformar a grafite em diamante sob altas pressões. O que ocorre é que as ligações entre os átomos de carbono se modificam, e o diamante apresenta uma estrutura tetraédrica, como indicado na Fig. 2. As ligações do diamante são menos estáveis que a do grafeno, mas no diamante os átomos ficam mais compactados, o que torna o diamante mais estável a grandes pressões (NTP, 1996).

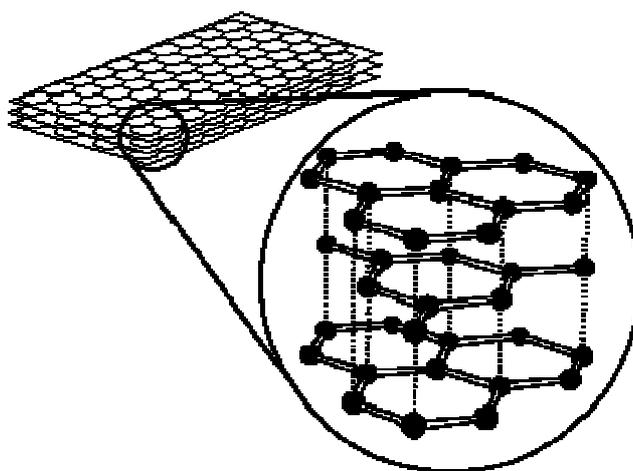


FIGURA 1: Estrutura da grafite. Camadas de grafeno, consistindo de estruturas hexagonais, são empilhadas com ligações mais fracas entre si (NTP, 1996).

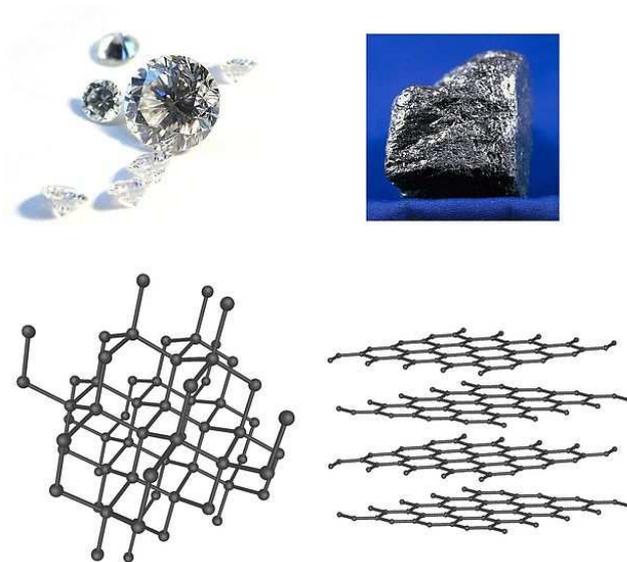


FIGURA 2: À direita, amostra de grafite e suas camadas de grafeno. À esquerda, amostra de diamante e sua estrutura atômica tetraédrica (Fonte: WIKIPÉDIA).

1.4.2 Fullerenos-C60

Em 1985, Sir H.W. Kroto, R.F. Curl & R.E. Smalley, procurando mimetizar condições interestelares para provar a existência de grandes cadeias de carbono no espaço sideral, realizaram o seguinte experimento. Incidiram em uma placa de grafite um laser pulsado de alta frequência e de alta energia. O calor extremo produzido na grafite gerou um estado de plasma, em que os elétrons se separaram de seus núcleos. Deste estado formaram-se agregados de carbono, que foram analisados em um instrumento que mede as massas de moléculas, chamado espectrômetro de massas. Nesta análise, os cientistas identificaram a formação de moléculas constituídas apenas por átomos de carbono, sendo que as com massas correspondendo a 60 e 70 átomos de carbono eram mais abundantes. Ao se estudar a forma geométrica dessas moléculas de C_{60} e C_{70} , que são bastante estáveis, descobriu-se que são excepcionalmente simétricas, possuindo a forma de uma bola de futebol (ver Fig. 3).

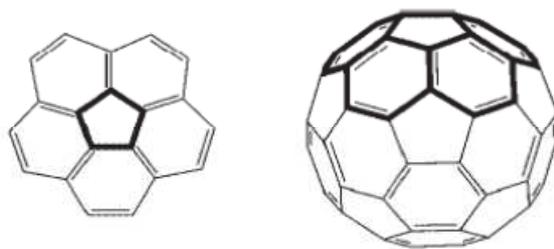


FIGURA 3: Fulereo C_{60} , também chamado de buckminsterfulereo ou buckybola, molécula com 60 átomos de carbono, dispostos nos vértices de um isocaedro truncado, formado por 12 pentágonos e 20 hexágonos (KRUEGER, 2010).

O nome de “fulerenos” foi dada a essas moléculas, em homenagem ao arquiteto Buckminster Fuller, criador dos domos geodésicos que seguem o mesmo princípio de simetria e estabilidade. Dependendo da substância que era misturada ao C_{60} , ele adquiria um comportamento elétrico diferente, podendo funcionar como isolante, condutor, semicondutor ou supercondutor. A descoberta dos fulerenos rendeu o prêmio Nobel de química para Kroto, Curl e Smalley em 1996 (KROTO, 1985; ALVES, 2004; MARTINS, 2005; KRUEGER, 2010).

Sabe-se que a molécula de C_{60} comporta-se como uma espécie eletronegativa, capaz de aceitar reversivelmente de um até seis elétrons, formando os ânions correspondentes. O C_{60} tem sido investigado para a aplicação em limitação óptica, pois se descobriu que a eficiência da transmissão por soluções de fulerenos- C_{60} diminui com o aumento da intensidade da luz incidente. Materiais ou dispositivos com essas características são potencialmente úteis para proteger sensores ópticos como o olho humano de raios laser. Um dos maiores obstáculos para o uso tecnológico do fulereno- C_{60} é a sua baixa solubilidade em solventes usuais (KRUEGER, 2010; SANTOS, 2010).

1.4.3 Nanotubos de carbono

Em 1991, Sumio Iijima observou, por meio da microscopia eletrônica, a existência de compostos formados por múltiplas camadas de folhas de grafeno enrolados de forma cilíndrica. Estes compostos foram nomeados de “nanotubos” devido à sua forma tubular e ao fato de seu diâmetro ter dimensões nanométricas. Posteriormente, estes nanotubos de múltiplas camadas, MWCNs (*multi-wall carbon nanotubes*), foram sintetizados por meio de técnicas similares às utilizadas para a obtenção dos fulerenos-C60. Em 1993, foram obtidos os nanotubos de uma única camada, os SWCNs (*single-wall carbon nanotubes*), formados por uma única folha de grafite enrolada de forma cilíndrica (IJIMA, 1991; IJIMA & ICHIHASHI, 1993).

Os nanotubos de carbono são encontradas com diâmetros da ordem de 10 nm. Seu tamanho e suas simetrias incomuns levaram cientistas a estudarem e a descobrirem propriedades eletrônicas e magnéticas excepcionais (COLUSSI, 2008; WOLF, 2009).

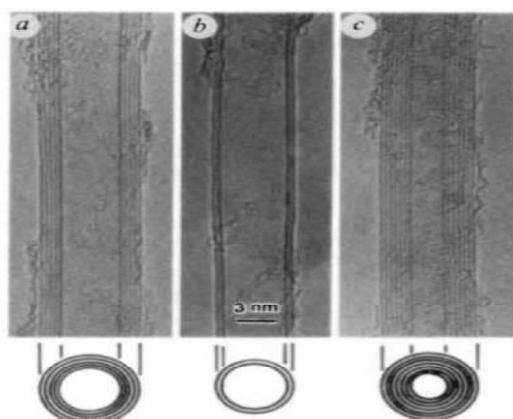


FIGURA 4: Imagens obtidas por IJIMA (1991), por meio de um microscópio eletrônico de transmissão, mostrando nanotubos de carbono de multiplas camadas (a,b,c) (ver também Fig. 7).

O trabalho de Iijima proporcionou a união de previsões teóricas e experimentais. Dessa forma, vários métodos foram estudados e utilizados para a produção de nanotubos de carbono, como a descarga em arco, evaporação a

laser, e a deposição de vapor químico (HERBST et al., 2004; COLUSSI, 2008; KRUEGER, 2010).

Podemos considerar os estudos das buckybolos e dos nanotubos de carbono como pioneiros na área de nanomateriais. Suas propriedades, e o imenso ramo de aplicações na nanotecnologia, promoveram um grande aprofundamento da nanociência no estudo dos nanomateriais para o desenvolvimento de dispositivos nanométricos (MELO & PIMENTA, 2004; KRUEGER, 2010).

Os nanotubos de carbono possuem propriedades mecânicas e eletrônicas notáveis. Para entendermos estas propriedades, é necessário levar em conta seu diâmetro e sua “quiralidade”. A palavra “quiral” vem do grego para “mão”, pois nossas duas mãos têm quiralidade diferente, dado que sua orientação tridimensional é diferente. No nosso contexto, a quiralidade se refere à torção de um nanotubo, que ocorre em um certo sentido e com um certo ângulo de helicidade, ϕ . Estes dois parâmetros, diâmetro do nanotubo e helicidade, levam ao cálculo dos chamados índices de Hamada: (n,m) . Um nanotubo de carbono é constituído de uma folha de grafite (grafeno) enrolada de tal forma que coincidam dois sítios cristalograficamente equivalentes de sua rede hexagonal. O vetor quiral C_h define a posição relativa dos dois sítios, e é definido mediante dois números inteiros (n,m) e pelos vetores unitários da rede hexagonal a_1 e a_2 , onde $C_h = na_1 + ma_2$, como indicado na Fig. 5 (HERBST et al., 2004; COLUSSI, 2008; KRUEGER, 2010).

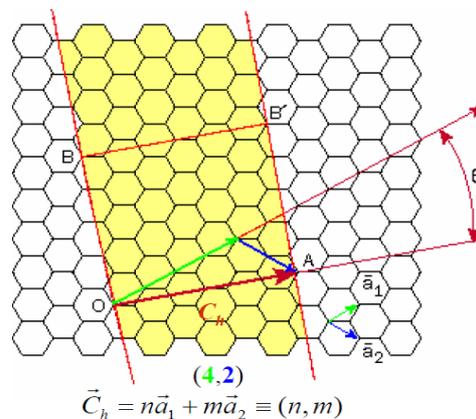


FIGURA 5: Diagrama da formação de nanotubos de carbono, a partir de uma folha de grafite (adaptado de HERBST et al., 2004).

Em função dos índices de Hamana (n,m), um nanotubo de carbono é metálico quando a diferença $n-m$ for zero ou múltiplo de 3, caso contrário será um semicondutor (HERBST et al., 2004; KRUEGER, 2010).

Em 2001, Cees Dekker, biofísico holandês, demonstrou que os nanotubos poderiam ser utilizados como transistores ou outros dispositivos eletrônicos. No mesmo ano, a equipe da IBM (EUA) construiu a primeira rede de transistores usando nanotubos e um sistema lógico à base de nanotubos (ALVES, 2004; GRUNER, 2008).

Além das notáveis propriedades eletrônicas dos nanotubos de carbono, eles possuem alta resistividade e são também muito leves, perfeitos para a construção de fibras e polímeros. São excelentes condutores de calor, podendo ser utilizados como dissipadores de calor. Possuem a propriedade de luminescência, propriedade importante para marcadores e cintiladores em sistemas biológicos. São estruturas cilíndricas perfeitas e estão sendo utilizados para fabricação de pontas para os microscópios de resolução atômica e antenas.

A produção mundial de nanotubos de carbono está contabilizada na ordem de centenas de toneladas, e incorpora a produção de muitos produtos disponíveis no mercado, com a previsão de um aumento da capacidade de produção para milhares de toneladas a partir de 2012. Uma questão preocupante em relação à introdução dos nanotubos de carbono, bastante debatida é seu impacto à saúde humana, devido à falta de estudos toxicológicos conclusivos (ABDI, 2011 b).

1.4.4 Grafeno

Em 2004, os físicos russos Andre K. Geim e Kostantin Novoselov, da Universidade de Manchester, conseguiram isolar um único plano da grafite por esfoliação mecânica da grafite, utilizando uma fita adesiva (NOVOSELOV & GEIM, 2004). Dessa forma, obtiveram pela primeira vez o grafeno, material estável e flexível que promete revolucionar a indústria de semicondutores (Fig.6). Esta descoberta rendeu-lhes o prêmio Nobel de Física de 2010.

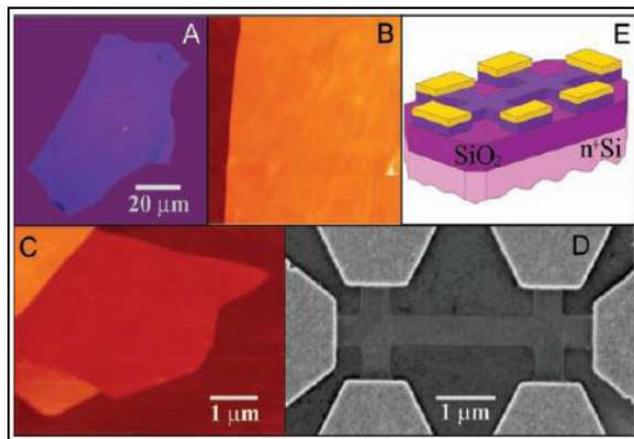


FIGURA 6: Filmes de grafeno. (A). Espectroscopia óptica de uma lâmina de múltiplas camadas de grafeno com espessura 3 nm do topo do óxido de Si. (B) Imagem de um microscópio de força atômica (AFM) da amostra próxima à borda. A cor marrom escura (laranja) é a superfície de SiO₂. (C) Imagem de AFM de uma única camada de grafeno. A cor marrom escura é a superfícies de SiO₂. (D) Imagem de microscópio eletrônico de varredura de um dispositivo experimental com filme de grafeno de poucas camadas. (E) Figura esquemática do dispositivo (adaptada de NOVOSELOV et al., 2004).

Como já vimos, grafeno é o nome dado a uma monocamada planar de átomos de carbono dispostos em uma rede bidimensional hexagonal, e é base para outras estruturas de carbono, como os fulerenos-C60, os nanotubos de carbono e a grafite, conforme mostra a Fig. 7.

A preparação do grafeno em laboratório abriu as portas para o estudo experimental de suas propriedades. Uma aplicação é na área de transporte elétrico em dispositivos do tipo transistores de efeito de campo, à base de grafeno. O grafeno apresenta “transporte balístico” (os elétrons se movem livremente, sem serem dispersados pelo meio) mesmo à temperatura ambiente, devido à sua alta qualidade cristalina. O caminho livre médio dos portadores pode chegar a centenas de nanômetros e sua condutividade térmica nunca é menor que um quantum de condutância (MAFRA, 2008).

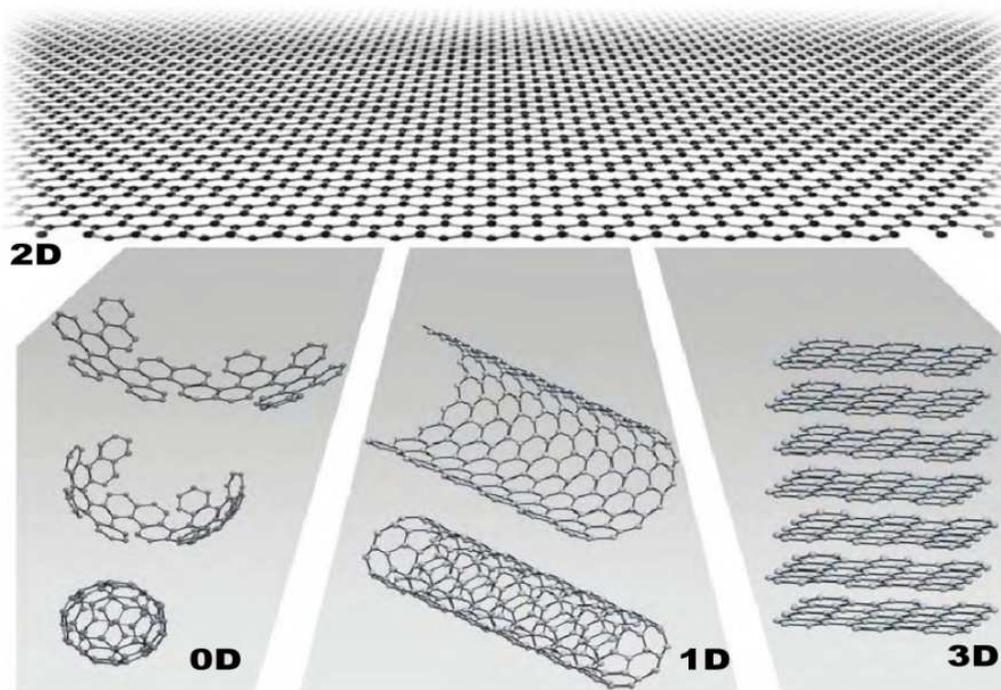


FIGURA 7: Plano de grafeno originando diferentes estruturas alotrópicas do carbono (adaptada de GEIM et al., 2007).

Ao observarmos o lápis, uma ferramenta tão simples e utilizada no mundo todo, é difícil visualizar que o material que o compõe, a grafite, é formado por uma pilha tridimensional de folhas de grafeno, mantidas juntas pela ação da força de van der Waals. O grafeno, que é a peça básica para a construção de todos os materiais “grafíticos”, é a nanoestrutura mais fina do mundo, sendo que estudo de suas propriedades tem proporcionado aos nanocientistas de todo o mundo compreender melhor algumas propriedades da física básica.

A incomum dispersão de energia e a natureza bidimensional do grafeno dão a este material um lugar de destaque na física de matéria condensada. Uma das primeiras aplicações tecnológicas do grafeno envolve telas de *touch screen*, sendo que a pesquisa sobre o transporte elétrico no grafeno avançou e ainda há inúmeras possibilidades de investigação e desenvolvimento para a nanociência.

Gordon Moore, um dos cofundadores da Intel, formulou uma “lei”², nos primórdios da microeletrônica, que afirma que é constante o intervalo de tempo que demora para dobrar o número de componentes (transistores) de um chip. Em 1965 previu que o tempo para dobrar este número seria de um ano, mas em 1975 reviu esta lei, anunciando que o tempo necessário para dobrar o número de transistores seria de 24 meses (SCHULZ, 2008; WOLF, 2009).

Ao aplicarmos sua lei para a diminuição das dimensões características dos componentes de um circuito integrado, concluiríamos que por volta de 2040 essas dimensões seriam da ordem do diâmetro de um único átomo!

O avanço da nanociência surge como uma nova ruptura tecnológica, mas ainda não temos como avaliar suas reais possibilidades para manter o aumento dos componentes de um circuito integrado em relação ao tempo. Mas, na busca por um substituto para o silício, surgem como excelentes candidatos as nanoestruturas de carbono, que adquirem nesta escala propriedades como supercondutividade, dureza e maleabilidade. Como sua matéria prima é abundante na natureza, elas podem baratear o custo da produção de dispositivos eletrônicos (MELO & PIMENTA, 2004; COLUSSI, 2008).

1.5 A nanociência e a nanotecnologia na sociedade

Há um amplo campo da ética e das questões sociais envolvidas no desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia, consolidadas com o surgimento em 2003 da revista científica intitulada *Nanoethics* (Nanoética). Esta discussão possibilita a junção de pesquisas feitas por sociólogos, economistas, historiadores e filósofos sobre a influência da nanotecnologia na sociedade e no meio ambiente, buscando a integração das discussões dos nanocientistas com o público não especialista, e incluindo a dimensão social como fator relevante para o desenvolvimento da pesquisa (MODY, 2008; MARTINS, 2005, pp. 129-132; BRUNE et al., 2006, pp. 399-438).

² A “lei” está entre aspas, pois não se trata de uma lei da natureza, como a da gravitação universal, válida para qualquer distância ou massa. Tal lei tem seus limites de validade, e há discussões sobre até quando esta relação se manterá.

Uma questão levantada na *Nanoethics* refere-se a quais políticas desenvolvidas em torno da nanotecnologia poderiam contribuir para que a sociedade tivesse uma maior participação nas decisões relativas à produção e uso de nanomateriais, levando em conta os potenciais riscos associados, naquilo que se pode chamar “consentimento informado” (SCHULZ, 2009, pp. 91-100). O conceito central da nanoética e do engajamento público em nanotecnologia considera fundamental o acesso às informações, a compreensão dos procedimentos e técnicas, a capacidade de avaliar riscos, e a competência para se posicionar nas discussões sobre a introdução de novas tecnologias e produtos no nosso cotidiano. A nanotecnologia, devido à sua característica interdisciplinar, levará à construção de áreas de intersecção de conhecimentos, com potencial de um grande impacto coletivo no campo ambiental e social, justificando a necessidade de diálogo constante entre a ciência e a sociedade (ESCALANTE, 2005, p. 260).

A *National Science Foundation*, entidade de amparo à pesquisa do governo estadunidense, considera que a nanotecnologia irá fundamentalmente mudar a ciência, a tecnologia e a sociedade. O mercado global em nanotecnologia atingiu patamares da ordem de US\$ 11,6 bilhões em 2007, e estima-se que será de US\$ 27 bilhões em 2013 (BCC RESEARCH, 2008).

No Brasil, o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) foi inaugurado em 2005 pelo Ministério de Ciências e Tecnologia, e em cinco anos foram contemplados 412 projetos de pesquisa. No entanto, dentre estes projetos verificou-se a ausência de discussões com o público não especialista, fator que deveria ser considerado importante para a formulação de políticas de ciência e de novas tecnologias (ROTHBERG & RESENDE, 2010, p. 202).

Os inúmeros avanços tecnológicos, para os quais a nanotecnologia tem contribuído ou irá contribuir, promove um cenário bastante positivo. No entanto, há questões éticas não consideradas e riscos não avaliados de maneira eficiente, dado que muitos especialistas consideram que há incertezas sobre os efeitos ambientais e toxicológicos dos produtos e processos envolvidos com a nanotecnologia (SCHULZ, 2009, pp. 105-111).

Segundo alguns especialistas, há o risco de toxicidade de certos tipos de nanopartículas, que seriam capazes de penetrar no sistema imune de humanos e outros animais, afetando mucosas, membranas e corrente sanguínea,

podendo atacar órgãos como fígado, pulmões, coração e artérias. Assim, em nome do princípio de precaução, devem-se realizar estudos independentes para obter dados mais precisos sobre a nanotoxicologia (ROTHBERG & RESENDE, 2010, p. 205; LACEY, 2008).

No Brasil, um dos projetos promissores no âmbito da comunicação com o público não especialista é o constituído pela Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), que teve o projeto “Engajamento público em nanotecnologia”, aprovado pela CNPq em 2006. Neste projeto, foram realizados bate-papos virtuais entre pesquisadores de nanotecnologia e o público não especialista, e foram promovidas palestras sobre o tema em vários momentos do projeto, resultando dessas discussões um vídeo intitulado “Nanotecnologia, o futuro é agora” (MARTINS et al., 2007).

Segundo o relatório intitulado Nanotecnologias: Subsídios para a problemática dos riscos e regulação, realizado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), uma das primeiras pesquisas sobre a opinião pública a respeito da nanotecnologia foi realizada na Inglaterra, em 2003, e os resultados do relatório “*Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties*” demonstrou que a maioria da população pouco sabia ou nunca havia ouvido falar sobre nanotecnologia (ABDI, 2011 b).

Em 2008, nos Estados Unidos, uma pesquisa realizada pelo *Project on Emerging Nanotechnologies* (PEN) indicou que o estudo e o setor da nanotecnologia é desconhecido por grande parte do público. O relatório destacou que as pessoas com baixos salários e pouca educação são as mais desinformadas. No Japão, em 2004, o Nanotechnology Research Institute realizou um estudo com o grande público, e 55% dos entrevistados afirmaram já ter ouvido falar de nanotecnologia. O estudo verificou que a educação, a curiosidade científica e a informação prontamente disponibilizada foram essenciais para o conhecimento sobre nanotecnologia. O relatório da ABDI desconhece um estudo, em grande escala, que tenha buscado avaliar a percepção pública da nanotecnologia em nosso país (ABDI, 2011b).

A difusão e a informação sobre os conceitos da N&N e de seus impactos sobre a economia, a sociedade e o meio ambiente é urgente. A falta de compreensão do público não especialista se dá em parte pelo fato de que a ciência e a tecnologia, de modo geral, é vista como tendo suas decisões

tomadas de maneira neutra (em relação aos interesses sociais), o que tornariam desnecessárias as discussões sobre seus impactos sobre a vida humana. Apesar do acesso à informação tornar-se cada vez mais democrático, a maioria da população não desenvolveu uma cultura científica, que torne o acesso à informação disponível uma ferramenta para sua participação crítica na sociedade.

Dessa forma, o engajamento público em nanotecnologia deve assumir três funções: educacional, cívica e de mobilização popular. A primeira pretende esclarecer o público sobre os resultados da atividade científica, a segunda envolve o senso crítico e a tomada de decisões, ampliando a cidadania, e a terceira refere-se à difusão de informações que estimulem a participação da sociedade na escolha da inserção de novas tecnologias em seu cotidiano (MARTINS et al., 2007; ROTHBERG & RESENDE, 2010, p. 207-8).

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho começou com a elaboração de uma sequência didática para a introdução de conceitos da nanociência e da discussão do impacto da nanotecnologia na sociedade e no meio ambiente, com enfoque no estudo das nanoestruturas de carbono.

Foram utilizadas duas abordagens para a construção da sequência didática, resultando em dois momentos diferentes de análise. A princípio, o trabalho tinha como referência metodológica a teoria da transposição didática. Após a análise da introdução da sequência didática, e das discussões realizadas sobre o tempo de duração e a reformulação da sequência didática, passamos para uma abordagem teórica com base na Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), e como ferramenta para a reformulação da sequência didática utilizamos a abordagem metodológica da Teaching-Learning Sequence (TLS).

2.1 Transposição didática

O conceito da transposição didática foi introduzido pelo sociólogo Michel Verret no ano de 1975, na França. Porém, foi somente em 1982 que Chevallard & Joshua fizeram uma análise mais aprofundada da transposição didática, em um artigo no qual discutiam as transformações do conceito de distância sofridas desde o saber de referência introduzido por Fréchet, em 1906, até o momento de sua introdução em 1971 nos programas de geometria da sétima série (ASTOLFI & DEVELAY, 2009).

A transposição didática é uma ferramenta teórica que nos permite entender o processo de transformação do saber. Segundo Chevallard, o saber está sujeito a transformações que podem ocorrer conforme três patamares: o saber sábio, o saber a ensinar, e o saber ensinado (ALVES FILHO, 2000).

A introdução da nanociência e nanotecnologia no ensino médio constitui uma inovação curricular que deve passar pelo processo da transposição didática. Nosso trabalho é transpor o saber a ensinar para o saber ensinado. O processo de transformação do saber a ensinar é a base para a construção da sequência didática, e a inserção desta sequência no ensino médio traz elementos para que possamos modificar a sequência, para que seja possível transpor o saber ensinar para o saber ensinado. Neste sentido, o conceito da transposição didática introduzido por Chevallard foi relevante.

2.2 Teaching-Learning Sequences (TLS) ou Sequência de Ensino-Aprendizagem

O termo Teaching-Learning Sequences (TLS), traduzido por Sequência de Ensino-Aprendizagem, surge nos trabalhos do holandês Piet Lijnse (1994, 1995), e tem como característica principal tratar simultaneamente da pesquisa e desenvolvimento das sequências de ensino-aprendizagem (LIJNSE, 2004).

Considerando o trabalho de inovação nos currículos de ciência, a francesa Martine Méheut e o grego Dimitris Psillos desenvolveram uma nova forma de implementar e de analisar sequências didáticas na área de ensino de ciências, adotando também o termo Teaching-Learning Sequences (MÉHEUT & PSILLOS, 2004).

A revista *International Journal of Science Education* (2004, v. 26, n. 5) reuniu artigos de pesquisas que adotaram a abordagem teórico-metodológica da TLS para a construção e a aplicação de sequências de ensino-aprendizagem. Dentre estes autores, podemos mencionar KABAPINAR, LEACH & SCOTT (2004), que tratam do conceito de solubilidade, e BUTY, TIBERGHIEU & MARÉCHAL (2004), que discutem os temas de óptica e da condutividade.

As Teaching-Learning Sequences caracterizam-se por sequências didáticas de curta duração, desenvolvidas para um tópico específico do currículo, e elaboradas junto à pesquisa, de forma que os resultados obtidos possam ser analisados e os seus pontos frágeis reestruturados para que a

proposta seja aplicada novamente, produzindo, dessa forma, um ciclo evolutivo na estrutura e qualidade didática.

A base dos estudos para a TLS é uma abordagem definida como *Design-Based Research* (DBR), a qual prevê uma metodologia de pesquisa que integre uma perspectiva teórica com aplicações educacionais práticas (DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE, 2003). A TLS propõe um tipo de intervenção e análise dos resultados com foco na avaliação, em busca de aprimorar as sequências didáticas e ir além do aperfeiçoamento de um único produto, com o foco no desenvolvimento de modelos de sequências de ensino e aprendizagem bem sucedidos.

Consideramos um ciclo evolutivo como um período de aproximadamente um bimestre, ou seja, 16 aulas aproximadamente. Para análise da sequência, segundo Méheut & Psillos (2004), deve-se considerar um “losango didático” (Fig.8), cuja dimensão pedagógica envolve o professor e os alunos, e cuja dimensão epistêmica envolve o conhecimento científico e o mundo material.

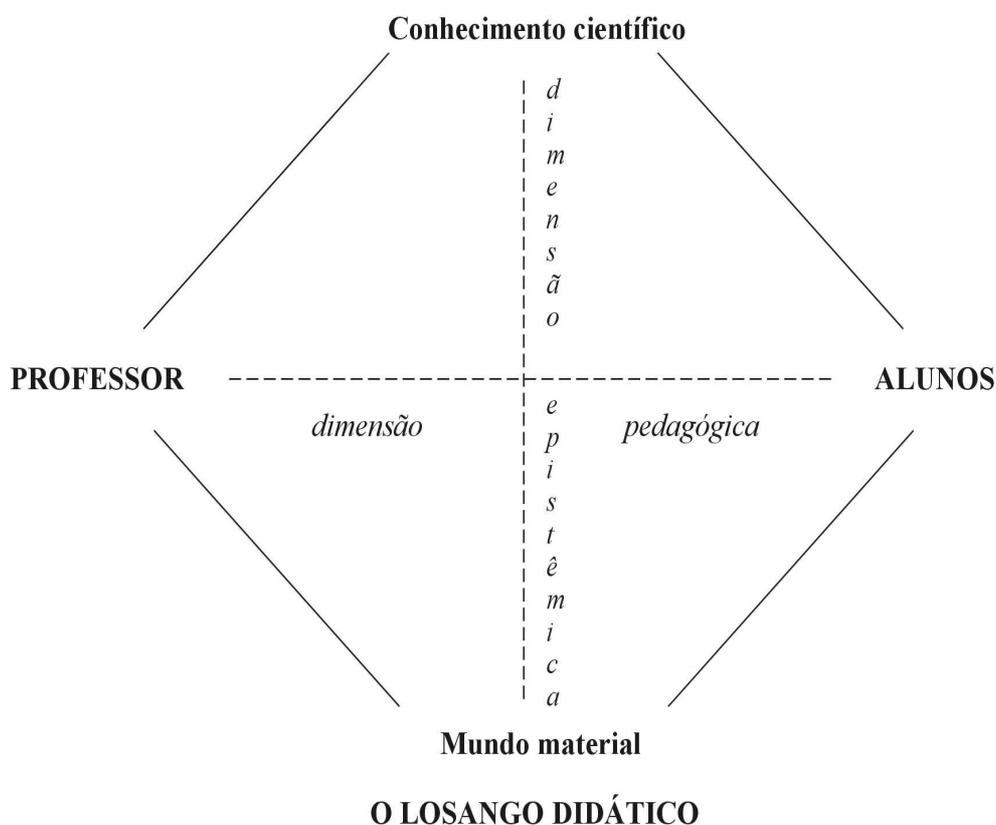


FIGURA 8. Representação do “losango didático”. Adaptado de MÉHEUT & PSILLOS, 2004 p. 517.

Nosso foco de análise será a sequência de ensino e aprendizagem em nanociência e nanotecnologia. Para tanto, levaremos em consideração a produção dos alunos. Como a sequência didática será aplicada na escola e reaplicada, como prevê a discussão da TLS, a dimensão tanto epistemológica, que considera o processo de elaboração de métodos e validação com relação ao mundo real, quanto pedagógica, que contempla os aspectos relativos ao papel das interações entre professor e alunos, são pontos importantes para a análise dos dados.

A abordagem com este enfoque metodológico não exclui as contribuições teóricas trazidas pela compreensão do processo da transposição didática. A vantagem é que ela efetivamente propõe um ganho no tempo de aplicação e validação da sequência de ensino-aprendizagem, prevendo a aplicação e a reaplicação, o que envolve a construção, a aplicação e a avaliação da sequência.

2.3 Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)

A educação científica vem mudando conforme o contexto histórico, e desde o século XIX a urgência de educação científica para o público é uma das questões centrais em debates educacionais. Em relação a estas discussões tem destaque a reflexão sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade (SANTOS, 2011).

Um dos objetivos para a educação em nível médio apontado pelos PCN é entender o impacto das tecnologias associados às Ciências Naturais, na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida social (BRASIL, 2002, p.13).

Segundo AIKENHEAD (2005), resultados de pesquisas de propostas de ensino de ciências com enfoque CTS têm contribuído para integrar os estudantes da educação básica que apresentam dificuldades com o ensino tradicional de ciências, pois ao relacionar a importância social do conhecimento

científico, os alunos passam a ter uma visão mais significativa para o desenvolvimento da cidadania.

Neste sentido a educação científica, com o enfoque CTS, tem como objetivo o desenvolvimento do engajamento público, pois ao privilegiar o diálogo entre a construção do conhecimento científico e seus impactos na vida humana, promove a capacidade de tomada de decisões na sociedade com base no conhecimento científico e tecnológico. Assim, são temas relevantes para a discussão mediante o enfoque CTS as questões conflitantes em relação à inserção da N&N na sociedade em relação, à ética, e a sua relação com o meio-ambiente e com a saúde humana (AULER, 2011).

O conteúdo dos currículos de CTS é multidisciplinar, sendo que os conceitos são abordados em uma perspectiva relacional, e podendo enfatizar uma ou outra dimensão do conhecimento abordado. Como mostra o trabalho de SANTOS & MORTIMER (2002), as propostas de ensino denominadas CTS podem se agrupar em função da prioridade dos objetivos nas intervenções didáticas, de acordo com a seguinte classificação proposta por Aikenhead (1994, apud SANTOS & MORTIMER, 2002 p.15):

1. Propostas em que o conteúdo de CTS é usado como elemento de motivação, ou seja, ensino tradicional de ciências com menção ao conteúdo CTS.
2. Incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático, correspondendo ao ensino tradicional com algumas discussões de conteúdo de CTS.
3. Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático, constituindo um ensino tradicional de ciências com a introdução de estudos de conteúdo integrados aos tópicos de ciência.
4. Disciplina científica (Química, Física e Biologia) apresentada por meio de conteúdos de CTS. Os temas de CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências e a sua sequência, sendo a seleção de conteúdo feita pela disciplina.
5. Ciências por meio do conteúdo de CTS. A abordagem de CTS organiza o conteúdo e sua sequência. O conteúdo de ciências é multidisciplinar, ditado pelo conteúdo de CTS, e contempla tópicos científicos puros.

6. Ciências com conteúdo de CTS: neste caso, o conteúdo de CTS é o foco do ensino.
7. Incorporação das ciências ao conteúdo de CTS. O conteúdo de CTS é o foco do currículo, sendo que o conteúdo de ciência é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente.
8. Conteúdo de CTS. Trata-se do estudo de uma questão tecnológica ou social importante, em que o conteúdo de ciências é apenas um vínculo.

Segundo Santos (2011), alguns autores, como Auler (2002) e Pinheiro e Bazzo (2007), têm usado as três modalidades da classificação adotada por Luján López (1994). A primeira classificação considera os currículos que incluem temas CTS sem alterar a abordagem tradicional dos conteúdos científicos. O segundo grupo refere-se a projetos curriculares por meio de temas CTS, onde os conceitos científicos são introduzidos a partir de temas CTS. O terceiro grupo considera as discussões das implicações CTS como enfoque do currículo, e os conceitos científicos têm uma menor relevância.

Considerando o propósito da educação com enfoque CTS, Auler e Delizoicov (2001) classificam os currículos CTS em duas visões que podemos chamar de “ideológicas”: a reducionista e a ampliada. A visão reducionista é marcada por reproduzir uma ênfase na concepção da neutralidade das decisões no desenvolvimento da ciência e da tecnologia, e contribuem para a consolidação do mito da superioridade tecnocrática. Ao contrário, a visão ampliada busca relacionar as interações entre CTS, para que haja uma compreensão crítica do desenvolvimento econômico, tecnológico e social (SANTOS, 2011).

A ciência e a tecnologia são campos de atividade que estão cada vez mais interdependentes, tendo vindo a crescer a utilização do termo “tecnociência”, revelador da indissociabilidade das duas entidades que estão presentes na sociedade contemporânea (MARTINS & PAIXÃO, 2011).

As relações entre tecnociência e poder podem ser reformuladas segundo linhas mais democráticas, de forma a reconciliar valores e cultura democrática e humanista com o progresso científico (CACHAPUZ, 2011).

A população tem seu cotidiano invadido pela tecnologia de base científica que cada vez mais surge como um status de qualidade de vida e até de poder, em determinadas situações, mas desconhece as relações políticas, econômicas que estão envolvidas nesta nova ordem social (MARTINS & PAIXÃO, 2011).

No Brasil, a busca pela democratização nas decisões em temas sociais envolvendo ciência e tecnologia, surge com as discussões filosóficas adotadas pelo educador Paulo Freire (FREIRE, 1987, 1992). A concepção de educação de Paulo Freire nos leva a uma educação problematizadora ou dialógica, que se contrapõem à concepção de “*educação bancária*”. A educação problematizadora considera o aluno em um contexto de vida que pode ser conhecido e modificado; a partir do diálogo com o educando, o educador pode modificar sua prática adaptá-las aos fenômenos ou situações vividas no contexto social, econômico e cultural do aluno ou da comunidade. Isso se contrapõe à “*educação bancária*” que concebe a educação como uma transmissão de conhecimento sem a possibilidade de diálogo (DELIZOICOV, 1991; AULER, 2011).

Segundo Freire (1987), alfabetizar, muito mais do que ler palavras, deve propiciar a “*leitura crítica do mundo*”. Dessa forma, para que haja uma leitura do mundo contemporâneo, se faz necessário que o ensino de ciências desenvolva situações de aprendizagem que levem a um engajamento crítico sobre as interações entre CTS (AULER, 2011).

Ao introduzir conceitos da nanociência e nanotecnologia no ensino, com uma perspectiva CTS, considera-se essencial que haja uma articulação de questões inerentes à introdução de novas tecnologias, para a interrelação entre a explicação científica e o planejamento tecnológico, e na busca por um currículo que privilegie a participação em debates, a tomada fundamentada de decisões, em temas complexos, não impactados por um único campo disciplinar (AULER, 2011).

Para que os alunos possam ter o direito e o dever de participarem de grandes decisões que envolvam questões de natureza científica e tecnológica, devem dispor de conhecimento em ciência e tecnologia, mas também sobre a natureza da ciência e tecnologia, considerando os vários contextos em que essas se tornam impactantes para o cidadão e para a sociedade.

A educação com enfoque CTS abandona o modelo tradicional de ensino, baseado apenas na transmissão do conhecimento, pois prioriza a participação dos alunos, para que de fato possam ter um papel mais ativo e dinâmico na sociedade. Dessa forma, o ensino em Nanociência e Nanotecnologia sob a perspectiva CTS, busca uma interrelação entre as questões científicas, tecnológicas e sociais.

Sem uma educação em ciência de qualidade não é possível o crescimento pessoal de cada cidadão, permitindo-lhe ter uma leitura do mundo que vá além do senso comum e, ao mesmo tempo, participar informadamente no desenvolvimento das sociedades que se pretendem abertas e democráticas (CACHAPUZ, 2011).

O ensino de ciências, em especial o ensino de física na educação formal, ainda se constitui por um excesso de formalismo e pela manipulação mecânica de fórmulas e equações, com avaliações que pretendem verificar o grau de memorização do educando. Este fato promove um distanciamento entre as questões relacionadas à realidade do aluno e o que se prioriza como ensino na escola, causando um desinteresse por parte dos alunos para o ensino de física.

Em termos gerais, a contextualização no ensino de ciências abarca competências de inserção da ciência e de suas tecnologias em um processo histórico, social e cultural e o reconhecimento e discussão de aspectos práticos e éticos da ciência no mundo contemporâneo (PCN⁺, 2002, p.31).

A abordagem CTS promove a aproximação da ciência e suas relações com o cotidiano, ao trabalhar com tópicos que não são usualmente abordados na escola, mas que permeiam o dia a dia dos alunos, promovendo discussões a respeito da neutralidade científica, e da construção do conhecimento científico que surge de questões sociais, e éticas.

Ao trabalhar com as questões inerentes ao desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia a partir do enfoque CTS, busca-se discutir as relações ciência e tecnologia, que estão cada vez mais indissociáveis, como

sugere o termo nanotecnociência, envolvendo o funcionamento de novos produtos tecnológicos e suas implicações sociais.

2.4 A Metodologia da Pesquisa

Considerando que as novas tecnologias estão intimamente ligadas ao cotidiano dos alunos, o desenvolvimento de atividades vinculadas a temas atuais se constitui como tema gerador de conhecimento científico. Neste contexto, a introdução de conceitos da nanociência e o estudo do impacto da nanotecnologia no ensino médio poderá facilitar o estudo da física.

Neste trabalho pretende-se responder à seguinte questão:

Como introduzir conceitos da nanociência e da nanotecnologia no ensino médio, e como avaliar, por meio de métodos da área de ensino e aprendizagem, o sucesso de tal introdução?

Utilizando-se da transposição didática, buscou-se na primeira etapa do trabalho (2010-11) a elaboração de uma *sequência didática inicial* que promovesse a construção de um conhecimento significativo e que estivesse adaptada à realidade dos alunos.

Os conceitos considerados relevantes para a construção da sequência didática inicial, nesta perspectiva, estão a seguir, constituindo 8 *temas norteadores*, que serão esmiuçados no capítulo seguinte:

Sequência didática inicial

- TEMA 1) Escalas do milímetro ao nanômetro.
- 2) Modelo atômico e a “visualização” do átomo.
 - 3) Introdução à nanociência e nanotecnologia.
 - 4) Mudança de propriedades com a escala.
 - 5) Processos de obtenção de nanomateriais.
 - 6') Novas propriedades físico-químicas das nanoestruturas de carbono.
 - 7') A importância dos nanomateriais de carbono para dispositivos eletrônicos.
 - 8') Os impactos das nanotecnologias: na sociedade, na economia, na cultura e no meio-ambiente.

Esses temas norteadores serão esmiuçados no capítulo seguinte. Os três últimos temas (com números seguidos de apóstrofe) foram abordados em aulas expositivas, mas não foram realizadas atividades didáticas especiais com os alunos.

No entanto, ao considerarmos a perspectiva da educação CTS e a reestruturação da sequência didática a partir da TLS, elaboramos em 2012 uma *sequência didática reformulada*. Nesta perspectiva, selecionamos os seguintes quatro temas norteadores (também esmiuçados no capítulo seguinte), sendo que dois deles (3,4) retomam a sequência inicial com alterações.

Sequência didática reformulada

- 6) Ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético.
- 3) Introdução à nanociência e nanotecnologia.
- 4) Mudança de propriedades com a escala.
- 5) Processos de obtenção de nanomateriais.
- 7) Nanociência, nanotecnologia e sociedade.

Na seção 3.3 apresenta-se um quadro que resume as alterações feitas nas situações de aprendizagem entre as duas sequências didáticas.

2.4.1 Tomada de dados

Dada a complexidade do fenômeno de ensino e aprendizagem, sua investigação deve ser minuciosa, já que elementos os mais variados entram em jogo (BOGDAN & BIKLEN, 1994). Assim, a investigação obedecerá a um delineamento qualitativo, e os dados obtidos serão do discurso oral e escrito.

A investigação se baseia em inferências obtidas dos dados que provêm de dois tipos de instrumentos: questionários e notas de campo.

O questionário tem como objetivo o levantamento de indícios sobre as concepções espontâneas dos alunos, no início de cada tema. Em cada situação de aprendizagem, também há questões que buscam identificar elementos de análise no processo de construção de conceitos significativos, e quais atividades foram essenciais para a construção desses conceitos, contribuindo assim para a reelaboração da sequência didática ao longo de sua aplicação.

O projeto foi desenvolvido no ensino médio da rede pública estadual de ensino, nas turmas do ensino médio regular, articulado ao conteúdo de física moderna, na Escola Técnica Estadual “Martin Luther King”, no bairro de Tatuapé, em São Paulo. Para adequar a sequência de atividades propostas neste projeto ao tempo previsto (um bimestre), foi desenvolvido um curso extracurricular sobre nanociência e nanotecnologia, oferecido aos alunos no início do segundo semestre de 2010. Os encontros foram realizados no horário do almoço, uma vez por semana. O curso contou com a presença de 30 alunos, sendo quinze alunos da 2ª série do nível médio, e quinze da 1ª série do nível médio. Esta análise preliminar teve como objetivo a avaliação do que de fato era possível realizar, contribuindo para mudanças e reformulações.

Após algumas reformulações da sequência didática, iniciamos um novo curso extracurricular no primeiro semestre de 2011. No entanto, houve greve de três meses na escola e após a greve os alunos tiveram que repor todas as aulas e não tinham mais disponibilidade de horário para dar continuidade ao curso. Em conversa com os alunos, pensamos em uma reestruturação do curso e, aplicamos um questionário com o objetivo de verificar o conhecimento

dos alunos sobre nanotecnologia. O questionário foi aplicado para 90 alunos de toda a escola em 2011.

A partir dos resultados obtidos na aplicação, foram feitas reformulações no referencial teórico-metodológico. A sequência didática foi reformulada para ser novamente aplicada no segundo semestre de 2012.

As reformulações foram guiadas pelas mudanças na metodologia de pesquisa, utilizamos para a reformulação a TLS e a abordagem CTS. A nova sequência didática manteve o enfoque na introdução de conceitos da nanociência e da nanotecnologia, mas nessa introdução priorizou-se a participação dos alunos como “principais protagonistas”³ da construção de seu conhecimento.

As situações de aprendizagem foram construídas para que trouxessem discussões sobre a introdução da N&N na sociedade e no mundo, e permearam todos os temas.

Uma das grandes alterações foi a introdução das atividades nas aulas regulares de física, a partir do curso de física ondulatória. Após a análise dos dados obtidos na sequência aplicada em 2010 e 2011, verificou-se que o tempo para a aplicação da sequência didática era muito curto. Além disso, o fato de ser um curso extracurricular fez com que muitos alunos acabassem desistindo dele, para priorizar as atividades desenvolvidas no curso regular.

Com relação aos assuntos abordados na primeira sequência didática (curso extracurricular), identificamos um problema em relação ao conteúdo de física ondulatória, envolvendo os conceitos de luz e ondas eletromagnéticas, pois a maioria dos alunos não entendia como a luz interagia com os objetos. Outro dado relevante foi o formato da sequência, que estava muito fechado para as intervenções dos alunos. Com essas preocupações, a sequência reformulada foi aplicada nas aulas de física da 2ª série do ensino médio durante o segundo semestre de 2012.

Na reformulação buscamos, a partir do conteúdo de física ondulatória, introduzir conceitos de nanociência e nanotecnologia. O curso foi apresentado em “slides” (ou seja, com recursos audiovisuais, “data show”, usando o programa Power Point), com questões geradoras que tinham como objetivo

³ Termo usado pelo professor Luís Carlos de Menezes como proposta para a alteração da sequência didática durante a realização do exame de qualificação.

uma maior participação dos alunos na construção da sequência. Dessa forma, sequência acabou sendo construída ao longo de sua própria aplicação.

CAPÍTULO 3

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A seguir descrevemos a estrutura da sequência das atividades didáticas, desenvolvidas ao longo da pesquisa sobre o tema da nanociência e nanotecnologia (N&N).

3.1 A construção da sequência didática inicial

O desenvolvimento da pesquisa começou com a elaboração de uma sequência didática para a introdução de conceitos da nanociência e do impacto da nanotecnologia, com enfoque no estudo das nanoestruturas de carbono.

Para este fim, a elaboração desta sequência didática teve como foco a articulação da física moderna envolvida na introdução desses conceitos. As atividades envolveram experimentos de baixo custo, análise e discussões de vídeos e textos de divulgação científica. Utilizaram-se como referência os trabalhos de SCHULZ (2007), VALADARES et al. (2005), ALFORD et al. (2009), HEY et al. (2009), HOOVER et al. (2009), WANSON et al. (2009) e WOLF (2009), entre outros.

Assim, elaboramos a primeira sequência didática (2010-11), seguindo os 8 temas, discutidos nas próximas subseções. Depois da reformulação (2012), a sequência didática passou a ter 5 temas geradores. Trata-se dos conceitos que consideramos essenciais para a introdução da N&N no ensino médio.

3.1.1 TEMA 1: Escalas do milímetro ao nanômetro

As situações de aprendizagem que compõem as atividades têm como objetivo a estimativa de escalas (macro, micro, nano, etc.), partindo de elementos que permeiam o cotidiano dos alunos. Dentro deste tema, a passagem entre escalas foi também explorada com a apresentação do filme *O incrível homem que encolheu*, atividade esta que será descrita na seção 3.1.3.

Na finalização deste tema, foi também apresentada a sequência de “slides” *Powers of ten*, que mostra imagens em diferentes escalas, com diferença de 10x, indo do metro a 10^{-20} m.⁴

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.1. Questionário sobre escalas

Nesta etapa do trabalho, busca-se entender quais são as concepções espontâneas que os alunos têm sobre escalas, aplicando de início um questionário sobre escalas.

QUESTIONÁRIO: ESCALAS E SUA MINIATURIZAÇÃO

Parte 1: Investigando as escalas

Responda as questões abaixo:

1. Quais instrumentos poderíamos utilizar para medir o comprimento do pátio da escola? Justifique.
2. É possível medir a espessura de uma folha do seu caderno? Justifique.
3. Como podemos medir o comprimento da luz visível? Justifique.
4. O que é necessário para enxergarmos um objeto?

O bloco de atividades a seguir tem como objetivo estimar escalas do 10^{-3} m (mm) até o 10^{-9} m (nm), com atividades em que os alunos possam fazer medições e construir uma noção qualitativa e quantitativa sobre as escalas.

⁴ A animação *Powers of Ten* de Charles & Ray Eames (1977), está disponível na internet. A ideia foi concebida por Kees Boeke, com sua animação *Cosmic View*, de 1957.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.2. A espessura da folha de papel

Para o desenvolvimento desta atividade, cada grupo de cinco alunos precisa encontrar uma maneira de medir a espessura de uma folha de papel.

Em seguida, são fornecidos ao grupo uma régua de 30 cm e um caderno de 500 folhas, para que possam quantificar a espessura da folha de um papel. Ao utilizarem a régua de 30 cm como instrumento de medição, espera-se que conseguirão chegar à estimativa da espessura de uma folha de papel, que é de aproximadamente 0,1 mm ($100\mu\text{m}$). Um roteiro é dado aos alunos, mas não o reproduziremos aqui.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.3. A largura da trilha de gravação de um disco de vinil

Os alunos agora devem usar sua criatividade para estimar a largura da trilha de gravação de um disco de vinil. O procedimento almejado é que eles meçam, com a régua, a largura correspondente a uma música (por exemplo, a segunda faixa do lado A). Aí eles verificam a duração temporal da canção, que é de 4 minutos. Sabendo que a frequência de rotação é de 33,3 rotações por minuto, eles conseguem estimar o número de trilhas dentro da faixa, e assim obtêm a largura de uma única trilha de gravação deste disco.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.4. A largura da trilha de gravação de um CD

Ao olhar para o lado gravado de um *compact disc* (CD) refletindo uma fonte luminosa, observamos a decomposição da luz nas cores do arco-íris. O CD funciona como uma grade de difração para a luz visível, indicando que suas trilhas de gravação possuem um espaçamento com dimensões da ordem do comprimento de onda da luz visível. Este experimento também é importante para falarmos sobre a natureza ondulatória da luz e sobre a construção do espectrômetro óptico caseiro (ver seção 3.2.1).

A seguinte situação de aprendizagem foi entregue aos alunos:

ESTIMAR A LARGURA DA TRILHA DE GRAVAÇÃO DE UM CD

1. Coloque o lado gravado de um CD sob uma fonte luminosa. O que observa? Faça um desenho para descrever sua observação.
2. Considerando o conhecimento obtido sobre ondas eletromagnéticas, sabe-se que sua velocidade de propagação é $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e a frequência com que se propaga é da ordem de grandeza de $f = 10^{14}$ Hz. Assim, determine a ordem de grandeza do comprimento de onda λ da luz visível. Dados: $c = \lambda \cdot f$.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.5. Escala nanoscópica na ponta de um lápis

O objetivo deste roteiro é estimar a espessura do traço de uma grafite, por meio de experimentos e do uso de recursos geométricos. O aluno inicialmente faz um traço com a lapiseira em uma folha de papel, e é instruído a verificar se consegue perceber o traço com a ponta do dedo. Em seguida, o aluno deixa exatamente 1 mm de grafite para fora de sua lapiseira, e faz traços com a lapiseira, preenchendo uma área retangular, até gastar toda a grafite. Com o auxílio da régua, ele mede a área ocupada pelos traços da grafite. Para calcular a espessura do traço, o aluno precisa estimar o volume total da grafite gasta, supondo que a ponta da grafite tem forma cilíndrica. Sabendo, desta forma, o volume de grafite do seu desenho no papel, o aluno pode encontrar a espessura do traço.

ESCALA NANOSCÓPICA NA PONTA DE UM LÁPIS

O objetivo deste roteiro é estimar a espessura do traço de uma grafite, por meio de experimentos e do uso de recursos geométricos.

Material: Lapiseira 0,5 mm, folha de papel, régua de 30 cm, e calculadora.

1. Faça um traço com a lapiseira em uma folha de papel. Verifique se consegue perceber o traço com o toque de sua mão. Justifique.
Realize o procedimento descrito abaixo e responda as questões:
2. Deixe 1 mm de grafite para fora do corpo da lapiseira.
3. Faça traços com a lapiseira até gastar todo a grafite, em formato retangular.
4. Meça com o auxílio da régua o comprimento dos traços que fez e some as medições.
5. Para calcular o volume do traço, supondo que este é retangular, basta considerar que seu volume é igual a $V_t = c \cdot \ell \cdot e$ (c = comprimento total dos traços, ℓ = largura do traço, e = espessura)
6. Em seguida calcule o volume da grafite utilizada, sabendo que a grafite tem formato de um cilindro. O volume do cilindro é calculado pela seguinte fórmula: $V_g = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h$ (d = diâmetro da grafite, h = altura da grafite deixada para fora do corpo da lapiseira).
7. Dessa forma temos que o volume do traço é igual ao volume da grafite $V_t = V_g$, e com os dados coletados, conseguimos chegar à espessura do traço.
Qual foi a espessura do traço? Qual é o seu tamanho?

Os resultados desta atividade foram satisfatórios, mas como todos os passos do roteiro foram dados aos alunos, decidimos, na sequência didática modificada (nas alterações do TEMA 4), deixar os alunos construírem por si mesmos um procedimento para estimar a espessura do traço da grafite deixada pela lapiseira

sobre o papel. Nesta versão modificada, simplesmente fiz a pergunta: “Descreva um procedimento para estimar a espessura do traço de uma grafite”. No entanto, os alunos não conseguiram resolver o problema por conta própria.

3.1.2 TEMA 2: Modelo atômico e a “visualização” do átomo

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2.1. Questionário sobre átomos

O questionário inicial tem como objetivo explorar o conhecimento dos alunos sobre os conceitos de átomo e molécula:

QUESTIONÁRIO: MODELOS ATÔMICOS

Responda as questões abaixo:

1. De que são feitas as coisas? Faça um desenho para justificar sua resposta.
2. Do que somos feitos? Justifique.
3. O que têm em comum um diamante e uma grafite? Qual a diferença entre eles?
4. Desenhe uma molécula de água.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2.2. Construção de um modelo científico

Nesta atividade, cada grupo de alunos recebeu uma caixa preta lacrada, com alguns objetos dentro, sendo que os objetos inseridos eram diferentes para cada grupo de alunos. O objetivo era descrever o que tinha dentro da caixa, sem que se pudesse observar visualmente, mas apenas através do som (ao se mexer a caixa) e da distribuição do peso. Além do exercício de elaboração de hipóteses, esta atividade é um interessante instrumento para a análise e discussão de um modelo científico. Os alunos receberam o seguinte questionário:

QUESTIONÁRIO: CAIXA PRETA

Responda as questões abaixo:

1. Considerando que não podem abrir a caixa preta, tentem descobrir o que há dentro da caixa.
2. Montem um modelo explicativo para descrever o que há dentro da caixa. Desenhe este modelo.
3. Como conseguiram montar um modelo para o que há dentro da caixa se não podem “ver” o que de fato há dentro da caixa?

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2.3. Movimento browniano

Os alunos deveriam fazer observações de lâminas de grão de pólen e partículas de fuligem imersas em uma camada de água, através de um microscópio de luz simples. Dessa forma, poderiam enxergar o efeito dos átomos sobre as partículas, o movimento browniano.

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2.4 envolveu a construção de um espectrômetro óptico caseiro, que foi usado para discutir a identidade dos átomos. Esta situação foi aperfeiçoada na sequência didática reformulada, ver seção 3.2.1 (SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6.1).

3.1.3 TEMA 3: Introdução à nanociência e nanotecnologia

O objetivo deste bloco é chegar a uma definição de nanociência e de nanotecnologia. Assim, além de atividades em que os alunos possam fazer experimentos, observar e construir hipóteses, também discutimos o desenvolvimento histórico da nanociência, e a importância do engajamento público na discussão da nanotecnologia.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3.1. Questionário inicial sobre N&N

As seguintes questões abriram o bloco:

QUESTIONÁRIO: NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

1. Escreva o que você sabe sobre nanociência e nanotecnologia.
2. Qual é a escala em que a nanociência trabalha? Você consegue descrevê-la? Se sim, esboce algo que acredita ter esta escala.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3.2. Extração do DNA do morango

O objetivo desta atividade é fazer um experimento que motive a discussão das estruturas nanométricas que existem em nosso corpo, e que foram essenciais para o surgimento da vida como conhecemos.

EXPERIMENTO: EXTRAÇÃO DO DNA

Materiais: Morangos, detergente, álcool gelado, pote, funil, gaze, bastão, tubo de ensaio e 1 colher de sopa bem cheia de sal.

Procedimento:

1. Misture o sal com detergente até completar meio copo. Mexa bem até que a mistura se torne homogênea.
2. Amasse os morangos até não sobrar nenhum pedaço inteiro de morango.
3. Após liquefazer os morangos, adicione o sal com detergente e deixe descansar por poucos minutos.
4. Encaixe a gaze dentro do funil e ponha o extrato do morango para filtrar as partículas grandes.
5. Separe parte do líquido filtrado em um tubo de ensaio.
6. Adicione a mesma quantidade de álcool gelado ao líquido filtrado no tubo.
7. Agite devagar em movimentos circulares e observe se ocorre algum tipo de suspensão.

A situação de aprendizagem continua, dizendo que cada grupo deve estabelecer as quantidades dos reagentes utilizados para a realização do experimento. O resultado esperado é obter, assim que o álcool gelado é derramado no filtrado de morango, fitas brancas muito finas de DNA, que se formarão na interface entre as duas camadas. No final, pedi aos alunos que descrevessem os resultados obtidos e, caso não tenham conseguido chegar ao resultado esperado, refizessem o experimento, mudando as quantidades de reagentes.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3.3. Assistência e discussão de filmes relacionados com N&N

O objetivo das atividades desenvolvidas nesta situação de aprendizagem era introduzir a nanociência e a nanotecnologia a partir da relação entre ficção científica e desenvolvimento científico.

No início do curso, apresentei aos alunos o filme *O incrível homem que encolheu* (1957), dirigido por Jack Arnold, que conta a história de Scott Carey, que durante um passeio de férias em alto mar é atingido por uma nuvem radioativa e, alguns meses depois, começa a encolher, literalmente. Assim, muda a forma de “ver” o mundo, interagindo de forma inusitada com os objetos cotidianos. Após a exibição do filme, o seguinte questionário foi ministrado:

QUESTIONÁRIO: ESCALAS E SUA MINIATURIZAÇÃO

Parte 2: Análise do filme *O incrível homem que encolheu*

1. O que acontece com a relação área/volume quando o homem passa a encolher? Justifique.
2. O que acontece com o homem depois do final do filme? Justifique.

Posteriormente, nas atividades do TEMA 3, assistimos ao filme *Viagem Fantástica (Fantastic Voyage)*, dirigido por Richard Fleischer, de 1966. No enredo, um grupo de cientistas é miniaturizado para realizar uma viagem submarina através do corpo humano, para fazer uma delicada operação no cérebro. A discussão sobre o filme deixou claro, novamente, que a ficção científica pode se antecipar à construção do conhecimento científico, e traz questões sobre nanomedicina e nanociência. As seguintes questões foram formuladas:

QUESTIONÁRIO: FILME *VIAGEM FANTÁSTICA*

1. Como os cientistas são miniaturizados? Qual é o motivo para esta miniaturização? Justifique.
2. Como é a viagem pelo corpo humano? Daria para estimar o tamanho dos cientistas? Justifique.
3. Podemos realizar um procedimento semelhante ao do filme para curar alguma célula do corpo? Justifique.

Na reformulação da sequência (em 2012), depois da apresentação do filme *Viagem Fantástica*, os alunos sugeriram que cada estudante escolhesse quatro filmes para assistirem em casa. Como desafio, propus que em um relatório tentassem traçar uma relação entre eles, focalizando a ficção científica e o desenvolvimento científico (em especial os temas das radiações e nanotecnologia). Os filmes que formaram a lista (com indicação do ano de produção e diretor) foram:

- 1) *Viagem Fantástica* (1966/Richard Fleischer)
- 2) *O Incrível Homem que Encolheu* (1957/Jack Arnold)
- 3) *Querida Encolhi as Crianças* (1989/ Joe Johnston)
- 4) *O Incrível Hulk* (2003/ Ang Lee)
- 5) *Prometheus* (2011/ Ridley Scott)
- 6) *Missão Impossível – Protocolo Fantasma* (2011/ Brad Bird)

Nos relatórios sobre a análise dos filmes, os alunos falaram sobre a relação entre as tecnologias e o desenvolvimento da sociedade. Alguns trouxeram discussões sobre o uso inadequado das novas tecnologias, e foi muito interessante para que se pudesse retomar a discussão sobre a construção da cidadania e o conhecimento científico.

3.1.4 TEMA 4: Mudança de propriedades com a escala

Com este tema, estudamos como as propriedades de materiais mudam com a diminuição de seu tamanho. Um dos primeiros cientistas a estudar a mudança de escala foi o cientista Galileu Galilei, no seu *Discurso sobre duas novas ciências*, publicado em 1638. Neste trabalho Galileu (1985, p. 105) argumentou que, caso um cavalo pudesse ser aumentado para um tamanho maior, seus ossos não teriam condições de sustentar seu próprio peso, a não ser que a resistência dos ossos também aumentasse. De fato, se o tamanho do cavalo aumentasse 2 vezes, a área transversal de um osso aumentaria 4 vezes, e seu volume 8 vezes, e isso impossibilitaria tal indivíduo de se sustentar. Quando semelhante aumento ocorre na natureza, o aumento das partes não é proporcional, como Galileu exemplificou na Fig. 9.

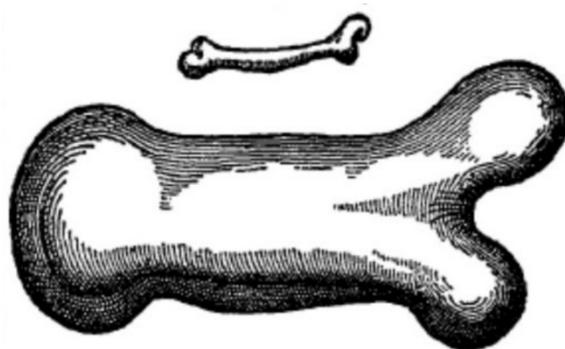


Figura 9. Desenho apresentado por Galileu (1985, p. 105) para ilustrar que se um osso fosse simplesmente aumentado três vezes, ele se tornaria mais frágil, sendo preciso que ele ficasse proporcionalmente mais grosso para exercer as mesmas funções que o osso menor.

Estudar a mudança de escala envolve o estudo de como a alteração de volume de um objeto qualquer afeta a relação entre seu peso, resistência e área superficial.

As atividades que compõem este tema, têm como objetivo que os alunos possam verificar algumas propriedades físicas que mudam com a diminuição da escala, focando na mudança da razão área/volume.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.1. Questionário sobre mudanças de propriedades com a escala

QUESTIONÁRIO: MUDANÇAS DE PROPRIEDADES COM A ESCALA

Responda as questões abaixo:

1. Quantas vezes podemos dividir um pedaço de grafite e os pedacinhos menores ainda continuarem sendo grafite?
2. O que muda quando diminuimos o tamanho da grafite? Justifique.
3. Conseguimos fazer café com grãos inteiros de café? Explique sua resposta.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.2. Razão área/volume

Nesta atividade, os alunos investigam o comportamento diferente de um grão de café inteiro e do café moído, para se fazer café. O experimento é rápido e fácil. Primeiramente, o coador é colocado dentro de um bécker, e grãos de café são colocados no coador. O aluno ferve água e a joga sobre os grãos. A água sai clarinha, parecendo um chá. Em seguida, o mesmo processo é feito com café moído, e o resultado é um café forte. Essa diferença ocorre pela diferença na área superficial disponível nos dois casos.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.3. Razão área/volume, procedimento geométrico

A atividade seguinte envolveu apenas cálculos, e não foi muito apreciado pelos alunos. De início, eles consideram um cubo de 10 cm de lado, e devem calcular seu volume e sua área externa de contato com o ar. Em seguida, imaginam um cubo de lado dez vezes menor, devendo calcular o volume e a área da superfície externa (área de contato). Por fim, fazem o mesmo para um cubo de lado igual a 1 mm. A ideia da atividade é fazer os alunos perceberem que a razão entre área e volume aumenta à medida que os lados diminuem.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.4. Acelerando reações

Nesta atividade, compara-se o que acontece com um garfo de aço e um pedaço de palha de aço, ambos em contato com o ar. De início, pergunta-se aos alunos qual desses dois enferrujaria mais rapidamente sobre uma pia de cozinha. Em seguida, eles realizaram o experimento de colocar os polos de uma bateria de 9 volts em contato com o garfo e com a palha de aço. A maioria se surpreendeu ao ver a palha de aço pegar fogo. O fato de os fios de aço serem muito finos aumenta o número de átomos de ferro em contato com o ar e a palha entra em combustão (reação com o oxigênio) ao receber a corrente elétrica. Este experimento é uma forma simples de iniciar o diálogo sobre a relação área e volume e a mudança de propriedades dos nanomateriais.

3.1.5 TEMA 5: Processos de obtenção de nanomateriais

O objetivo deste tema foi construir atividades em que os alunos pudessem experimentar com a construção de nanomateriais.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.1. Obtenção do grafeno por esfoliação mecânica

Na tentativa de obter nanoestruturas de carbono, especificamente o grafeno, utilizamos o método indicado por NOVOSELOV & GEIM (2004) de esfoliação mecânica. Grafite em pó foi jogada sobre uma superfície de zinco, e para fazê-lo aderir foi usado acetona. Em seguida, uma fita adesiva era pressionada na grafite e retirada. Repetindo este processo mais de vinte vezes, esperávamos obter algo próximo da uma monocamada de grafeno. Em um microscópio óptico, as áreas mais clarinhas corresponderiam à monocamada. No entanto, não observamos nada de relevante no microscópio.

O fracasso do experimento foi esclarecido em conversa com o prof. Marcos Pimenta, da UFMG. Em primeiro lugar, amostras comerciais de grafite contêm muitas impurezas, além de serem misturadas com silicone, para um melhor deslizamento do traço do artista. A fita adesiva precisa também ser muito potente, e há certos “macetes” (conhecimento tácito) para que o procedimento dê certo. Além disso, o processo em laboratórios científicos é realizado em salas ultralimpas.

Mesmo assim, vários autores afirmam que o processo é viável como atividade didática, havendo também vídeos na internet mostrando o procedimento.

Na sequência didática modificada, introduzimos mais duas atividades relativas a este tema, resumidas a seguir.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.2. Auto-arranjo e a construção *bottom-up* com blocos plásticos

Os alunos deveriam, após colocar blocos plásticos (tipo Lego, mas uma marca mais barata) em uma bacia com água, observar o que ocorre, e criar hipóteses para explicar o ocorrido. Os blocos plásticos flutuam sobre a água, e aos poucos tendem a se aglomerar, em um processo semelhante ao que ocorre no auto-arranjo molecular. No caso dos blocos plásticos, a

explicação envolve a tensão superficial da água, que é minimizada com a reorganização dos blocos (SCHULTZ, 2007, p. 7).

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.3. Espessura de um filme fino de óleo sobre a água

Nesta situação de aprendizagem, a ideia é discutir o experimento que Benjamin Franklin realizou em 1774 para calcular a espessura de uma fina camada de óleo jogada sobre a água de um lago. O resultado que obteve foi de aproximadamente 2 nm. Na sala de aula, este experimento pode ser aproximado ao se jogar uma gotinha de 1 mm de diâmetro de óleo em um balde de água.

Antes de pingarmos a gota de óleo sobre a água, coloca-se pimenta do reino na água. Ao pingar a gotinha, o movimento da água é identificado pelo movimento da pimenta. O diâmetro obtido para a mancha de óleo variou para cada grupo, com diâmetros entre 10 e 30 cm. O cálculo geométrico fornece espessuras em torno de 20 nm para a mancha. Esperava-se que os alunos pudessem fazer este cálculo geométrico, mas eles tiveram dificuldade.

A espessura da mancha de óleo não corresponde a uma monocamada molecular, mas é nanométrica, o que torna a atividade interessante.

ESPESURA DE UM FILME FINO DE ÓLEO SOBRE A ÁGUA

1. Descreva o procedimento utilizado para obtermos uma gota de óleo sobre a água.
2. O que acontece quando pingamos uma gota de óleo sobre a água? Justifique
3. Descreva um procedimento para obter a espessura da mancha de óleo sobre a água.

3.1.6 Outros temas trabalhados

Os outros temas planejados para esta primeira sequência didática foram abordados em aulas expositivas, mas não foram realizadas atividades didáticas especiais com os alunos. Assim, não havendo tomada de dados das atividades com os alunos, apenas mencionarei brevemente essas aulas.

O tema 6 era uma exploração das novas propriedades físico-químicas das nanoestruturas de carbono. Buscamos fazer um aprofundamento dos princípios físicos associados às nanoestruturas de carbono. Apresentei uma aula expositiva, mas não houve tempo de aprofundar o tema..

O tema 7 abordava a importância dos nanomateriais de carbono para os dispositivos eletrônicos. Neste tópico, empreendi uma abordagem histórica sobre a indústria da eletrônica e a importância dos semicondutores (ver seção 1.1). Discuti as propriedades do silício, da miniaturização, de suas limitações, e da busca por novos materiais. Explorei então as nanoestruturas de carbono, especialmente os nanotubos de carbono e o grafeno. Esses dois temas foram retomados na sequência didática final.

O tema 8 envolvia os impactos das nanotecnologias na sociedade, na economia, na cultura e no meio-ambiente. Esta foi a atividade de fechamento do curso, que retomou questões discutidas ao longo de todo o processo. Foi enfatizada a importância do engajamento público em discussões sobre a nanotecnologia, e da construção de uma cultura de discussão crítica dos avanços científicos e tecnológicos. Este tema foi retomado na sequência final, agora norteado pela abordagem da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

3.2. A construção da sequência didática reformulada

Após analisar os dados obtidos durante a aplicação da sequência inicial, em 2010 e 2011, verifiquei que a sequência estava muito fechada e longa, faltando espaço para a participação dos alunos e havendo dificuldade para a elaboração de hipóteses e a intervenção dos alunos no processo de construção do conhecimento.

Um outro aspecto importante relevante, referente à análise dos dados, se deu na SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.1, que abordou as escalas. Dos 89 alunos que participaram do curso entre 2010 e 2011, apenas 20 alunos construíram alguma hipótese sobre como medir o comprimento da luz visível, uma questão importante da física ondulatória, referente a ondas eletromagnéticas.

A sequência didática foi reformulada para ser aplicada no segundo semestre de 2012, durante as aulas de física da segunda série do ensino médio, articulada ao conteúdo de física ondulatória.

A carga horária do curso foi de duas aulas de 50 minutos semanais e a turma era composta por 40 alunos. A sequência foi preparada para ser realizada no terceiro e quarto bimestres, totalizando 18 aulas. O TLS recomenda a aplicação de sequências didáticas curtas, de em torno de 12 aulas, ou 2 bimestres. Considero que as 18 aulas dadas se encaixam neste formato, já que o ritmo do curso não foi tão intenso, havendo por exemplo duas dedicadas para se assistir e discutir um filme.

As aulas foram construídas em “slides”, envolvendo questões que levantassem discussões e tornassem os alunos os principais protagonistas da aula. Renumeramos os temas da sequência reformulada, seguindo a ordem dos temas da sequência inicial.

3.2.1 TEMA 6: Ondas eletromagnéticas e espectro eletromagnético

Na sequência reformulada, planejei abordar a N&N a partir da exploração do tópico de ondas eletromagnéticas. Como o início deste tópico estava previsto, no plano de curso, para o 3º bimestre, resolvi aplicar a sequência de N&N a partir deste 3º bimestre, concomitantemente com a exploração das ondas eletromagnéticas.

As aulas que compõem este tema têm como objetivo específico a compreensão da natureza ondulatória da luz, partindo do conceito de onda eletromagnética, e explorando o espectro eletromagnético. O conceito de fóton poderia ter sido discutido, pois é muito relevante para a N&N, mas acabou não dando tempo.

Este tema totalizou seis aulas. O tópico das primeiras duas aulas teóricas foi: “O que é a luz?” e “Como a luz do sol chega até a terra?” Durante o desenvolvimento do tema foram discutidos conceitos da luz como energia, o conceito de onda, ondas de luz, e radiação eletromagnética. Utilizamos esses conceitos também para falar sobre o desenvolvimento dos microscópios.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6.1. Construção de um espectrômetro óptico caseiro

Este experimento consistiu da observação do espectro luminoso de diferentes fontes, utilizando um CD (o procedimento de cortar um pedaço do CD, como foi feito em uma das aulas, traz o perigo de machucar os alunos). As ranhuras do CD funcionam como as linhas de uma grade de difração. O material utilizado para a construção do espectrômetro caseiro consistiu de uma caixa de pasta de dente, um CD, estilete, fita adesiva, tesoura. O procedimento descrito para os alunos era o seguinte:

CONSTRUÇÃO DO ESPECTRÔMETRO

Procedimento:

1. Faça um corte retangular (1 cm x 0,5 cm) em uma das tampas da caixa.
2. Faça uma pequena fenda (1 cm x 0,2 mm) com o estilete na outra tampa paralela ao corte retangular.
3. Retire a camada superior do CD com fita adesiva. Recorte, com o estilete, um pedaço retangular que seja um pouco maior que o corte feito na caixa (cuidado para não encostar na superfície do CD após retirar a camada superior).
4. Com fita adesiva, prenda o pedaço retangular de CD, retirado anteriormente, na parte interna da tampa, sobre o corte e feixe a caixa.
5. Coloque fita nos cantos da tampa para que a luz passe somente pelos dois orifícios.

Feito isto, passou-se a analisar os espectros de diferentes fontes luminosas. Utilizamos uma lâmpada incandescente, lâmpada fluorescente branca, lâmpada fluorescente amarela, lâmpada fluorescente verde, lâmpada de luz negra e lâmpada de LED.

EXPERIMENTANDO, OBSERVANDO E CRIANDO HIPÓTESES COM O ESPECTRÔMETRO

Aponte a fresta do espectrômetro para cada tipo de lâmpada e olhe através do “visor” de CD.

Represente com um desenho o que vê no interior da caixa. Compare e descreva as diferenças.

Após a realização da atividade experimental e da entrega das respostas, fizemos uma discussão e comparação dos espectros observados. A seguir, retomamos o conceito de ondas eletromagnéticas, o que são e como se propagam, transportando energia. Também trabalhamos as diferentes frequências do espectro e sua relação com o comprimento de onda.

Na aula seguinte, utilizamos o espectro eletromagnético para discutir a relação entre frequência e comprimento de onda. A partir dessa relação, cheguei à introdução das escalas métrica e nanométrica. Investigamos também a radiação eletromagnética em diferentes frequências. Surgiram muitas perguntas nesta aula sobre as radiações de maior frequência, como os raios X, e os seus efeitos em nosso corpo. Também discutimos a diferença entre uma onda sonora e uma onda de rádio.

Na última aula deste tema, discutimos novamente o que ocorre no experimento de espectroscopia que os alunos realizaram. Falamos de refração e dispersão da luz, e discutimos as linhas espectrais. Finalizei discutindo a identificação dos átomos por meio dos espectros ópticos.

Na continuação do curso, aplicamos a sequência apresentada anteriormente como TEMA 3, “Introdução à nanociência e à nanotecnologia” (ver seção 3.1.3). De início, os alunos assistiram a alguns filmes relacionados com o tópico de N&N, e os discutiram, ao longo de três aulas.

A décima aula da sequência didática reformulada tratou da questão de “Por que ensinar conceitos de Nanociência e Nanotecnologia?”. O objetivo era, a partir da discussão anterior, introduzir questões relacionadas ao desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia. Para isto comecei com algumas questões sobre o ensino de N&N, e a partir das respostas discutimos a importância da educação científica para que possamos agir de forma crítica. Definimos N&N e sua importância para a sociedade atual, discutimos o conceito de uma “tecnologia disruptiva”, os grandes investimentos na área e os processos de miniaturização ao longo da história.

Nas quatro aulas seguintes, retomamos a sequência didática do TEMA 4, sobre a mudança de propriedades com a escala (seção 3.1.4), e discutimos as propriedades dos nanomateriais de carbono. Em seguida, duas aulas envolveram a atividade da escala nanoscópica na ponta de um lápis (situação de aprendizagem 1.5) e os processos de obtenção de nanomateriais (ver seção 3.1.5).

3.2.2 TEMA 7: Nanociência, nanotecnologia e sociedade

As duas últimas aulas da sequência didática (que totalizou 18 aulas) promoveu discussões sobre nanociência e sociedade, para que o aluno conseguisse relacionar tudo o que foi discutido sobre N&N com seu cotidiano.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7.1. Nanociência, nanotecnologia e sociedade

Iniciamos falando sobre as atividades do grupo Renanosoma (Martins, 2005, 2006), e fizemos uma discussão sobre os impactos da introdução da N&N na sociedade e sobre o engajamento público na questão. A seguir, os alunos leram um texto de Peter Schulz e responderam o seguinte questionário.

Leia a entrevista de Peter Schulz publicada no *Jornal da Unicamp* de 2008 “O estranho íntimo – Manoel Alves Filho” e responda as questões abaixo:

1. Nós conseguiríamos viver sem tecnologia? Justifique
2. Qual a importância da divulgação científica em nanociência para a população? Justifique
3. A população pode interferir na introdução da nanotecnologia no mercado? Como isto seria possível?

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7.2. Feira de ciências

Durante a discussão da situação de aprendizagem, alguns alunos propuseram a apresentação de temas relacionados à Nanociência e à Nanotecnologia na Feira de Ciências que seria realizada na última semana de novembro. A ideia foi aceita pelo grupo de alunos, que achou uma das melhores maneiras de divulgar o tema para a comunidade escolar e também para os pais e professores que iriam visitar a Feira.

Assim, por conta dos feriados que cairiam na sexta-feira, começamos a comunicação sobre os temas por meio de e-mails e depois montamos um *blog* para que pudéssemos discutir dúvidas e postar materiais de referência para a pesquisa. Trocamos ideias sobre a construção e realização da Feira, sendo que a apresentação sobre N&N se daria no último dia da Feira.

Os temas escolhidos pelos alunos para apresentação na Feira de Ciências foram:

- 1) O que é nanociência e nanotecnologia? Qual escala é essa Nano?
- 2) Nanomateriais de carbono: nanotubo de carbono e grafeno, suas propriedades físicas e suas futuras aplicações em dispositivos eletrônicos
- 3) Nanotecnologia e divulgação científica (jornais científicos, revistas, vídeos) na sociedade brasileira
- 4) Nanoarte
- 5) Impactos da nanotecnologia: na sociedade, na economia, na cultura e no meio-ambiente

6) Nanotoxicologia

7) Musica e nano

Capa grupo apresentou um tema, e houve a participação de alunos, professores, funcionários e alguns pais de alunos na Feira. Nós realizamos uma pesquisa com o público que assistiu a Feira, sobre o que acharam mais relevante na apresentação sobre Nanociência e Nanotecnologia. A pergunta foi:

O que achou mais relevante na apresentação sobre Nanociência e Nanotecnologia? Justifique”.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7.3. Avaliação do curso

Para finalizar os alunos avaliaram o curso de Nanociência e Nanotecnologia ministrado.

3.3. Quadro das alterações feitas nas situações de aprendizagem

Para um melhor esclarecimento das alterações feitas nas situações de aprendizagem entre as duas sequências didáticas, e uma breve explicação de porque elas foram feitas, apresentamos a seguir um quadro que faz um resumo das alterações indicadas nas seções anteriores.

Sequência Inicial	Seq. Reformulada	Razões das mudanças
<p>TEMA 1) Escalas do milímetro ao nanômetro.</p> <p>1.1 Questionário sobre escalas</p> <p>1.2 A espessura da folha de papel</p> <p>1.3 A largura da trilha de gravação de um disco de vinil</p> <p>1.4 A largura da trilha de gravação de um CD</p> <p>1.5 Escala nanoscópica na ponta de um lápis</p>	→ Incluído no Tema 4	A discussão sobre escalas é um assunto com o qual os alunos já estão familiarizados, e acabou ocupando muito tempo.
<p>TEMA 2) Modelo atômico e a “visualização” do átomo.</p> <p>2.1 Questionário sobre átomos</p> <p>2.2 Construção de um modelo científico</p> <p>2.3 Movimento browniano</p> <p>2.4 Construção de um espectrômetro óptico caseiro</p>	→ Incluído no Tema 6	A partir da discussão do espectro EM, dá para falar da identidade atômica. Para ganhar tempo, tiramos esses tópicos introdutórios ao modelo atômico.
	<p>TEMA 6) Ondas eletromagnéticas e o espectro EM.</p> <p>6.1 Construção de um espectrômetro óptico caseiro</p>	Como os alunos tiveram dificuldade de entender como a luz poderia estar associada a uma escala espacial, priorizou-se o estudo do espectro EM.
<p>TEMA 3) Introdução à nanociência e nanotecnologia.</p> <p>3.1 Questionário inicial sobre N&N</p> <p>3.2 Extração do DNA do morango</p> <p>3.3 Assistência e discussão de filmes relacionados com N&N</p>	<p>TEMA 3) Intr. à N&N</p> <p>3.3 Filmes relacionados com N&N</p>	Priorizaram-se situações em que os alunos participassem mais, com discussões relacionando ficção científico e o desenvolvimento da C&T.
<p>TEMA 4) Nanomateriais e a mudança de propriedades com a escala.</p> <p>4.1 Questionário sobre mudanças de propriedades com a escala</p> <p>4.2 Razão área/volume (café)</p> <p>4.3 Razão área/volume, procedimento geométrico</p> <p>4.4 Acelerando reações (palha de aço)</p>	<p>TEMA 4) Nano- materiais...</p> <p>4.1 Questionário</p> <p>4.4 Acelerando reações</p> <p>1.5 Escala nanoscópica na ponta de um lápis</p>	Experimento com café tem resultado óbvio. Já o procedimento geométrico esbarrou na dificuldade dos alunos com matemática.
<p>TEMA 5) Processos de obtenção de nanomateriais.</p> <p>5.1 Obtenção do grafeno por esfoliação mecânica</p> <p>5.2 Auto-arranjo e a construção <i>bottom-up</i> com blocos plásticos</p> <p>5.3 Espessura de um filme fino de óleo sobre a água</p>	<p>TEMA 5) Processos de obtenção de nano.</p> <p>5.1. Grafeno por esfoliação</p> <p>5.2 Auto-arranjo com blocos</p> <p>5.3 Filme fino de óleo sobre água</p>	Procedimento de tentar a esfoliação mecânica foi substituído por um vídeo sobre o assunto. Situações 5.2 e 5.3 só foram realizadas na sequência reformulada. Discutiu-se melhor a importância dos nanomateriais de carbono e seus impactos sociais.
	<p>TEMA 7) N&N e sociedade</p> <p>7.1 Questionário</p> <p>7.2 Feira de ciências</p> <p>7.3 Avaliação do curso</p>	Na sequência inicial, o foco foi mais em Física. Com a abordagem CTS, priorizou-se também a discussão sobre N&N e sociedade.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE

Faremos uma análise dos dados obtidos durante as aplicações das sequências em 2010 e 2012, reunidos pelos temas. Em 2010, o interesse dos alunos pelo curso extracurricular foi um fator motivador; inicialmente abri apenas 30 vagas e houve 40 inscritos, e alguns alunos continuaram no curso em 2011. O curso foi ministrado no segundo semestre de 2010, tinha o formato de curso extracurricular e acontecia no horário do almoço. Em 2012, o curso foi inserido no 3º e 4º bimestre das aulas regulares de Física do 2º série do Ensino Médio, e contou com 40 alunos.

4.1. TEMA 1: Escalas do milímetro ao nanômetro

O TEMA 1, sobre escalas e sua miniaturização, foi melhor trabalhado na sequência inicial de 2010, ao passo que na sequência reformulada algumas dessas atividades foram inseridas junto a outros temas.

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.1. consistiu de um questionário sobre escalas. Iniciamos com a pergunta sobre a medição do comprimento do pátio da escola. Todos os alunos responderam corretamente a esta questão, levantando hipóteses para medir o comprimento do pátio, como mostra a resposta abaixo:

R1) O pátio da escola possui divisões, ao conseguirmos medir um espaço de um quadrado, poderíamos chegar ao valor do comprimento. Sabendo disto podemos usar uma trena, e medir apenas um quadrado e multiplicar pelo nº de quadrantes, assim acharemos o valor. Também podemos utilizar a régua, que será mais demorado, e achar a medida de um quadrado e fazer o mesmo processo.

Ao perguntar sobre se a espessura de uma folha de caderno poderia ser medida, 40% dos alunos disseram que precisariam de um instrumento adequado. A resposta R2, abaixo, indica a influência do curso técnico modular em Mecatrônica, realizado pela maioria dos alunos. Por outro lado, 60% foram mais criativos, relatando uma forma para efetuar a medição sem instrumentos de precisão (R3):

R2) Sim, com o auxílio de instrumentos como o paquímetro (precisão de 0,05 mm) e do micrômetro (precisão de 0,005 mm).

R3) Sim, com apenas uma folha, basta dobrarmos e contar o número de dobras que fizemos. Depois tirar a medida da espessura da folha dobrada e dividir pelo número de dobras.

Sobre a mensuração do comprimento da luz visível, os alunos não souberam propor um método factível, mesmo a classe incluindo alunos do 3º ano:

R4) Através da sua sombra, porém não sei explicar o processo.

R5) É só dividirmos a sua velocidade pelo tempo que ela demora até chegar ao meio (objeto, pessoa, etc).

R6) Medindo sua frequência de ondas porque cada fonte de energia reage de diferentes maneiras.

Sobre a questão do que é necessário para enxergarmos um objeto, a grande maioria formulou respostas adequadas:

R7) Que este objeto não esteja na escala micro, nano ou inferior, que haja uma luz sobre este objeto, que você tenha olhos e que não seja cego.

R8) A olho nu podemos enxergar um objeto tendo por dimensão de até mili, ou seja, 10^{-3} . Já a 10^{-6} veremos com o uso de microscópios. Para 10^{-9} utilizaremos microscópios com mais tecnologia.

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.2 envolveu a estimativa da espessura de uma folha de papel, pergunta formulada no questionário inicial, mas agora com um roteiro específico. Trabalhando em grupos de cinco alunos, todos conseguiram estimar a espessura, com respostas girando em torno de 0,1 mm.

Na SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.3, os alunos conseguiram realizar o procedimento e estimar a largura de uma trilha de gravação do disco de vinil. No entanto, alguns não conseguiram chegar a um valor plausível. A atividade foi muito interessante, pois muitos ficaram curiosos para entender como se obtém som a partir de um disco de vinil, e alguns nunca tinham visto um disco de vinil.

R9) Primeiramente devemos medir a largura de uma faixa (1,9 cm), depois vimos a duração de 4 minutos de música e multiplicar pelo número de rotações 33,3, chegando ao resultado de 133,2 rotações em 4 minutos, sabendo que o tamanho da faixa é de 1,9 cm, dividimos o tamanho pelo total de rotações, chegando ao resultado de 0,014 cm ou 0,14 mm.

Na SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.4, os alunos deveriam estimar a largura da trilha de gravação de um CD, a partir do conceito de difração da luz visível, e de que suas trilhas de gravação possuem um espaçamento com dimensões da ordem do comprimento de onda da luz visível. Este conceito, porém, não é óbvio, e geralmente não é trabalhado nos livros didáticos (uma exceção é o livro *Física conceitual*, de Paul Hewitt, 2002). Mesmo com um roteiro que incluía a fórmula relevante, os alunos tiveram dificuldade de entender o problema.

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.5. consistiu na estimativa da espessura do traço de uma grafite. A atividade foi realizada tanto em 2010 quanto em 2012. Na sequência inicial, todos os grupos inicialmente disseram que não conseguiríamos medir a espessura do traço de uma grafite, por ser muito fina, e que no máximo poderia ser sentida pelo tato. Porém, ao seguirem o procedimento que estava bastante detalhado, envolvendo métodos geométricos, eles conseguiram estimar valores muito menores do que podiam enxergar, e gostaram disso. As respostas obtidas variaram bastante, e a menor espessura calculada foi $1,78 \cdot 10^{-7}$ m, acima da espessura esperada da ordem

de poucos nanômetros. Isso pode ser devido à força com que o traço era feito no papel, e o tipo de ponta (HB, 2B).

Na sequência reformulada em 2012, resolvi não fornecer um roteiro detalhado para a resolução do problema, para estimular a criatividade científica dos alunos. Porém, o resultado foi abaixo do esperado, indicando que os alunos têm dificuldade de raciocinar utilizando a geometria tridimensional.

R10) Realizar o traço. Colocar a folha com o traço em um microscópio. Aumentar quantas vezes necessário para realizar uma medição precisa. Realizar através de processos técnicos (com aparelhos de medição). Converter o resultado obtido com a escala dividindo-o pelo número de vezes aumentada.

R11) Poderíamos enfileirar uma quantidade suficiente de grafites para que desse uma medida que possa ser vista a olho nu, ou na régua comum. Aí dividiríamos o número de grafite pelo tamanho obtido. Ou, poderíamos cuidadosamente observar o tamanho da espessura do grafite na caixa do produto.

Alguns alunos confundiram o cálculo da espessura (nanométrica) com o da largura (milimétrica) do traço da grafite:

R12) Para determinar a espessura do traço do grafite é preciso fazer vários traços com a lapiseira e quando chegarem a um tamanho mensurável com aparelhos ou uma régua, se mede o traço grande e depois se divide até ter uma estimativa do tamanho de apenas um traço.

Ao analisar os resultados gerais obtidos no TEMA 1, percebemos que os alunos têm um bom conhecimento sobre as escalas com as quais se relacionam no dia a dia. No entanto, no que se refere ao conceito de luz, de ondas eletromagnéticas, a maioria não conseguiu desenvolver as atividades, e este foi um ponto relevante para a reconstrução da sequência (ver TEMA 6). Percebemos também que as atividades foram muito longas e poderiam ser agrupadas, ou algumas atividades poderiam ter sido somente mencionadas. Ao trabalhar as escalas a partir da física ondulatória, tivemos dificuldades de chegar ao comprimento de onda da luz visível.

4.2. TEMA 2: Modelo atômico e a “visualização” do átomo

O questionário da SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2.1 foi entregue aos alunos para ser realizado em casa, mas eles acabaram não os devolvendo.

Na SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2.2, envolvendo a construção de um modelo científico, os alunos criam hipóteses para verificar o que havia na caixa. Segue abaixo algumas respostas, lembrando que cada grupo tinha objetos diferentes dentro de sua caixa.

R13) Supomos que dentro da caixa temos um elástico que liga os pauzinhos.

Chegamos nesta conclusão, pois ao movimentar o pauzinho de forma circular, percebemos que o material de dentro também enrolava e também se elasticava ao puxarmos o pauzinho.

R14) Na caixa existem pequenos fragmentos ou objetos com vértices, e um objeto maior que ao mexer a caixa faz um impacto maior que os outros menores.

Depois desta atividade discutimos em aula sobre os modelos atômicos, o conceito de modelo científico e a importância da construção de hipóteses. A atividade foi muito interessante e estimulou a participação dos alunos.

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2.3, relativa ao movimento browniano, acabou não sendo realizada, por falta de microscópio. Havia dez microscópios na escola, mas nenhum funcionava. Assim, fiz uma apresentação com enfoque histórico, utilizando slides. A aula foi interessante, pois muitos alunos ficaram impressionados com o movimento browniano e com sua relação com a existência dos átomos.

4.3. TEMA 3: Introdução à nanociência e nanotecnologia

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3.1 consistiu de um questionário inicial sobre N&N, com duas perguntas, dado em 2010. Este questionário serviu também como uma avaliação parcial do curso, pois até o momento vínhamos discutindo as escalas e falando sobre nanociência e nanotecnologia. Nesta

situação de aprendizagem, juntamos os conceitos discutidos para investigar mais a fundo a N&N e como esta ciência e esta tecnologia poderão mudar as relações econômicas, sociais e ambientais. O questionário foi respondido em grupo e suas respostas trouxeram elementos relevantes para aprofundarmos a relação entre N&N e seus impactos na sociedade. A primeira pergunta foi: “Escreva o que você sabe sobre nanociência e nanotecnologia”. Destaco algumas respostas mais interessantes.

R15) Simplesmente, começamos a realmente conhecê-la neste curso extracurricular, por que por estas fontes não é muito divulgado, além de que antes nunca me despertara o real interesse antes dessas aulas.

R16) Nanociência é a ciência que estuda materiais e amostras feitas numa escala de 10^{-9} . Nanotecnologia é o conjunto de tecnologias criadas nesta escala, que, a cada dia estão mais presentes na nossa vida. A nanotecnologia estuda o domínio de materiais nano. Suas aplicações está ligada a diversas áreas, e uma delas é a medicina. Os protetores solar contém nanotecnologia, o nosso celular e outros eletrônicos, contém ou podem ter nanotecnologia.

R17) É uma ciência que só trabalha na escala “nano”. Eles têm vários projetos na escala nano como nanorobôs médicos e nanomotores. Além disso, já existem partículas atuando em cremes hidratantes e bloqueadores solares. Cientistas já constataram que o nanotubo de carbono (partícula que estava sendo estudada para ser introduzida na sociedade) causa câncer. Agora, em relação a outras partículas, como a nanopartícula de prata que já está presente em cremes dentários, não se tem uma certeza dos problemas causados pelo constante uso devido ao sistema capitalista das grandes empresas produtoras das partículas.

R18) Nanociência é uma parte que estuda as partículas nano para ajudar no desenvolvimento de estudos sobre medicina nano entre outros. A nanotecnologia são equipamentos tecnológicos com dimensão nano como por exemplo os transistores e os microscópios atômicos.

A segunda pergunta era: “Qual é a escala em que a nanociência trabalha? Você consegue descrevê-la? Se sim, esboce algo que acredita ter esta escala.” Algumas respostas foram:

R19) É uma escala menor que o micro, invisível a olho nu. É a bilionésima parte do metro e só pode ser vista com a ajuda de um aparelho muito sofisticado.

R20) A nanociência trabalha com a escala 10^{-9} , exemplo nanotubos de carbono.

R21) A nanotecnologia trabalha com notação científica 10^{-9} . É uma escala menor que a de um fio de cabelo, e menor do que o glóbulo vermelho.

R22) Com o nanômetro, ou seja, 10^{-9} metros, a bilionésima parte do metro. Exemplo as bases da molécula de DNA.

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3.2, a extração do DNA, foi uma atividade realizada em conjunto com todos os alunos da sala, pois apenas um grupo conseguiu trazer morangos. Os alunos gostaram muito da atividade, no entanto ela não trouxe discussões relevantes sobre a nanociência e a nanotecnologia.

A situação de aprendizagem 3.3 envolveu a assistência de filmes relacionados com a N&N. Na sequência inicial, assistimos em sala ao filme *O incrível homem que encolheu*. O questionário foi entregue para ser respondido em casa, mas apenas uma aluna o devolveu. A primeira pergunta foi: “O que acontece com a relação área/volume quando o homem passa a encolher? Justifique.” A aluna não conseguiu relacionar sua área com o volume:

R23) Vivemos em um mundo onde a escala métrica é feita proporcionalmente ao nosso tamanho. O metro é muito usado porque fica ao nosso alcance. Pessoas que sofrem de gigantismo ou nanismo tem muitas dificuldades, porque ou são muito altos para nossos objetos, ou não tem altura suficiente para muitas atividades.

A segunda pergunta foi: “O que acontece com o homem depois do final do filme? Justifique.” A aluna não entendeu bem a pergunta, e não falou sobre o final do filme.

R24) Tudo era grande demais para ele. Ele tinha dificuldades para fazer tudo, corria perigo com objetos pequenos. Ele via tudo literalmente de baixo. Não conseguia trabalhar subir escadas, enfim, ele encontrou barreiras, que nunca tivera que traspasar na vida.

Em outra atividade, os alunos deveriam assistir ao filme *Viagem Fantástica* (1966) em casa e responder as questões do roteiro, no entanto não conseguiram baixar o filme ou alugar nas locadoras próximas de sua casa.

Finalizamos a discussão dos resultados obtidos nas SITUAÇÕES DE APRENDIZAGEM 3.1 e 3.2 e selecionei algumas cenas do filme para fazer uma reflexão sobre a N&N e os impactos que seu desenvolvimento poderá trazer para a economia, para o meio-ambiente e para as relações sociais. Também discutimos alguns mitos relacionados à N&N e como o nome “nano” pode ser uma jogada de marketing para que os produtos vendam mais. Também apresentei a história do desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia, para finalizar a aula. Fazendo uma análise deste tema gerador, acredito que poderia introduzi-lo antes, para já começarmos as discussões sobre o desenvolvimento da N&N e trabalhar com as questões referentes ao impacto da introdução de novas tecnologias na sociedade.

Na sequência reformulada, em 2012, o filme *Viagem Fantástica* foi apresentado em aula. Após o término da película, eu iria passar um questionário sobre o filme, mas alguns alunos mencionaram outros filmes com temas próximos à nanotecnologia e radiações, então decidimos que cada aluno iria assistir mais três filmes da lista construída, e tentaria buscar uma linha condutora entre eles, considerando a relação entre a ficção científica e o desenvolvimento científico (radiações e nanotecnologia), para depois discutirmos em sala.

Conforme indicado na seção 3.1.3, os outros filmes foram: *O Incrível Homem que Encolheu* (1957), *Querida Encolhi as Crianças* (1989), *O Incrível*

Hulk (2003), *Prometheus* (2011) e *Missão Impossível – Protocolo Fantasma* (2011). Apresento abaixo trechos das respostas dadas:

R25) Todos os filmes retratam uma sociedade com desenvolvimento tecnológico. As obras mais antigas com meios mais limitados, e as mais atuais possuem alta tecnologia. [...] Todas as obras mostram que a tecnologia é utilizada como forma para facilitar alguma situação. E no caso específico da nanotecnologia, é uma ferramenta mais eficiente ainda por sua praticidade, isso fica claro na “Missão impossível”. Há casos também como no “O incrível Hulk” que se não usada corretamente o desenvolvimento tecnológico pode acarretar consequências negativas. Assim, sociedade e tecnologia estão sempre relacionados.

R26) Uma das formas de publicar as expectativas não só do meio científico, mas também da população, foi a invenção do gênero cinematográfico chamado ficção científica. [...] Nos quatro filmes apresentados há personagens gigantes ou minúsculos, o que mostra que a humanidade quer conhecer todos os ângulos e escalas o universo no qual vive. Além disso, esse movimento de crescer e diminuir faz um paralelo de referência com a nanotecnologia (*top-down e botton-up*). Compreendendo os filmes podemos, enfim, concluir que a ficção científica é aliada do desenvolvimento científico, pois a todo momento antecipa o que vai se realizar cientificamente, a curto ou a longo prazo.

R27) A tecnologia é muito importante na nossa vida e nos ajuda com diversas coisas para facilitar o nosso dia a dia. Hoje em dia não conseguimos nos imaginar sem equipamentos como o celular, geladeira, e outros. Apesar de todas as funcionalidades que ela tem, também pode ser prejudicial, já que alguns experimentos podem dar errado como visto em alguns filmes e também podem ser um “luxo”, apenas para pessoas ficarem se gabando, porém com um equipamento sem muita utilidade.

R28) De acordo com a análise dos filmes propostos percebe-se a relação entre a ficção científica e o desenvolvimento científico [...] Os filmes

trabalham com a fantasia do poder de encolhimento baseados nos estudos de nanotecnologia e também da modificação celular humana para aumentar a resistência contra raios gama com os estudos de radiação. A ciência e a sociedade estabelecem uma estreita relação nos contextos tecnológicos, econômicos, políticos, pois está tudo interligado. As descobertas científicas influenciam o modo de pensar da sociedade provocando reflexões do tipo: “Até quando a ciência não estará infringindo a ética?”

R29) [...] Na maioria dos filmes o fator comum é o encolhimento, ou seja a compactação das moléculas, sem afetar o organismo, no entanto, temos também um outro fator científico que une estas obras, a NANOTECNOLOGIA. É notável o fato que ela se encontra em todos os filmes relatados, tanto mostrando o universo minúsculo e invisível a olho nu, quanto na presença de radiação, como os raios Gama, no filme *Hulk* ou a nuvem de radiação em *O incrível homem que encolheu*. Não importa como a Nanociência é sempre presente em nosso cotidiano (porém, muitas vezes não sabemos ou ignoramos este fato) e, conseqüentemente, também nos programas que assistimos. Essa é uma área relativamente nova da ciência, mas que tem um futuro promissor [...].

Os relatórios baseados nos filmes trouxeram elementos para que dialogássemos sobre o desenvolvimento da N&N, seu impacto na sociedade, e questões relacionadas com a nanoética. Os relatos apresentam visões diferentes em relação à ciência e à sociedade, o que promoveu um debate de ideias muito rico sobre a concepção da neutralidade científica, sobre o princípio de precaução e nossa participação na tomada de decisões, e sobre a importância de uma leitura crítica das informações veiculadas nas mídias (TV, internet, rádio, etc).

4.4. TEMA 4: Mudança de propriedades com a escala

Iniciamos este tema com a SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.1, um questionário sobre a mudança de propriedades com a escala, a ser respondido em grupo, tanto na sequência inicial (2010) quanto na reformulada (2012). Esta situação de aprendizagem foi interessante devido a erros conceituais exibidos pelos alunos.

Para a pergunta sobre “quantas vezes podemos dividir um pedaço de grafite e os pedacinhos menores ainda continuarem sendo grafite?”, obtivemos respostas variadas:

R30) Podemos dividir aparentemente a grafite 7 vezes e 56,7% da última metade quebrando a molécula.

R31) Em bilhões de vezes, aproximadamente umas 20 bilhões de vezes. Assim, o grafite ainda mantém sua composição original.

R32) Até chegar na ordem 10^{-8} .

R33) O pedaço de grafite pode ser dividido em número de vezes máximo até suas moléculas não se separarem, ele pode ser dividido enquanto se manter a estrutura molecular. Caso a estrutura seja quebrada, sobrarão somente átomos.

Apesar do equívoco da resposta R31, vemos que os estudantes entenderam as ordens de grandeza envolvidas.

A segunda pergunta foi: “O que muda quando diminuimos o tamanho da grafite? Justifique”.

R34) Ele continua sendo carbono, mesmo com uma diminuição de escala, porém suas propriedades vão se alterando. Na escala de 10^{-3} m, ele serve como grafite para uso escolar, já na escala 10^{-9} m, suas propriedades se alteram, se tornando mais maleável.

R35) Suas propriedades serão modificadas, sua área de contato será maior e será afetado pelo ambiente em escala maior.

R36) Ao diminuirmos o tamanho do grafite, ele aumenta as suas propriedades, como resistência e a capacidade dele de se ligar com outros átomos se torna maior.

R37) O volume do material descompacta, ou seja, fica maior e mais poroso, ficaria, a medida que fosse diminuindo, mais farelento, até transformar-se em pó.

Notamos que as últimas duas respostas envolvem algumas confusões. Supondo que R36 esteja se referindo à resistência mecânica, poderíamos responder ao grupo de alunos que o módulo de Young da grafite e do grafeno são comparáveis (1000 gigaPascal), mas isso envolve conceitos mais avançados. Também não parece correto dizer que a grafite se ligue mais com outros átomos, apesar de sua área superficial aumentar em relação ao seu volume. Quanto à resposta de R37, ela pode ser justificada se a mudança do tamanho da grafite resultar em fuligem, por exemplo.

A terceira pergunta foi realizada antes do experimento com o café: “Conseguimos fazer café com grãos inteiros de café? Explique sua resposta.”

R38) Sim, mas qualidade do café não será boa, pois com o pó de café a área de contato é muito maior do que a do grão.

R39) Não, pois o grão, por ser sólido não é solúvel em água, teríamos que moê-lo para que as moléculas ficassem menos agrupadas e compactadas e a água pudesse pegar o pigmento, os nutrientes e o sabor do café.

R40) Apenas se os grãos forem moídos. O pó de café consegue dissolver-se facilmente em água, já o grão do tamanho original não consegue. Isso acontece porque o arranjo das moléculas do café em estado de pó é diferente, consegue desarranjar facilmente, dissolvendo-se na água quente.

A resposta “engraçadinha” R38 foi uma das poucas que mencionou a razão área/volume. A resposta R39 foi boa, apesar de sugerir levemente um

erro conceitual presente em muitas das outras respostas, como a R40: a noção de que o pó de café não é sólido e que ele se dissolve ou se “desarranja” na água (o que se dissolve são algumas substâncias presentes nele).

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.2 envolveu o experimento com o café e uma discussão sobre a razão área/volume. A situação de aprendizagem foi realizada apenas em 2010, e por seu resultado ser esperado, não parece ter trazido ganhos significativos para a aprendizagem. No relato abaixo, um dos grupos descreve o experimento com os grãos de café inteiros, e depois com o café moído:

R41) [Grão inteiro] Após 46,82 s, água amarelada, porque quando a água passa pelo café, ela retira um pouco da coloração, adquirindo um pouco de aroma, e com o grão o coador de papel não pega coloração.

[Café moído] Após 1 min 21 s, água cor marrom, porque o pó é dissolvido na água, que adquire as propriedades do pó, como, coloração, aroma e sabor. No momento que o pó é coado, o nível de água sobe, junto com ele o pó e assim conforme o nível da água abaixa o pó vai se compactar.

Na SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.3, os alunos deveriam calcular a razão área/volume de cubos usando um procedimento geométrico. Porém, eles não conseguiram realizar as atividades propostas, pois tiveram dificuldade de calcular a área e o volume dos cubos.

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.4 envolveu o experimento comparando a oxidação e a transmissão de eletricidade por uma palha de aço e uma chave de fenda de aço. A ideia era os alunos perceberem que a maior relação área/volume da palha de aço a expunha às reações de oxidação e combustão. A primeira pergunta foi: “Ao colocar um garfo de aço e um pedaço de palha de aço sob uma pia de cozinha, qual desses materiais irá enferrujar primeiro. Explique”.

R42) Uma palha de aço pois a sua área exposta é maior logo há maior contato com o oxigênio, enferrujando primeiro.

R43) Essa experiência dependeria do tipo de aço utilizado no garfo, mas levando em consideração um garfo comum, a palha de aço enferrujaria primeiro, pois possui ligas mais finas, menos compactadas e menos densas que o garfo, que é mais denso e mais resistente.

A resposta R43 não mencionou a relação área/volume, e sugere erroneamente que a densidade das “ligas” da palha de aço é menor do que a do garfo.

As instruções seguintes foram: “Coloque os polos da bateria em contato com um garfo de aço. Descreva o que ocorre. Em seguida coloque os polos da bateria em contato com a palha de aço e descreva o que ocorre.” Duas respostas mais completas não mencionaram a razão área/volume:

R44) Ao fim da experiência percebemos que com o garfo não houve nenhum tipo de reação ao entrar em contato com a bateria. No entanto, quando usamos a palha de aço em contato com os polos da bateria ela rapidamente entrou em combustão. A corrente de energia, em contato com o oxigênio e as partículas de aço reagem facilmente pois a superfície de contato é boa, facilitando a condução.

R45) Ao se aproximar o garfo de aço à bateria não há reação aparente, o garfo não sofre nenhuma alteração e a bateria não se manifesta. Ao se aproximar a palha de aço à bateria ocorrem faíscas saídas da bateria que resultam na queima da palha. Pelo fato da palha ser mais fina e leve, a corrente elétrica passa mais rapidamente pelos fios de aço da mesma, gerando assim, as faíscas. O que não acontece com o garfo, que é mais grosso e denso e a corrente elétrica demora para percorrer seu corpo.

A resposta R44 usou um termo errado no final, e a R45 considerou erroneamente que a velocidade da corrente elétrica é maior no caso da palha de aço. As respostas seguintes mencionam a razão área/volume, mas R47 de maneira bastante equivocada.

R46) No garfo, nada visível acontece. Na palha, pequenas faíscas aparecem. Há essa diferença pois há diferença da área de contato.

R47) Devido a área de contato do garfo ser maior, ele esquenta mas não o suficiente para queimá-lo. No caso da palha queima, pois possui fios mais finos.

Ao finalizar este tema gerador, focamos na discussão da relação área/volume e nas relações entre os nanomateriais de carbono e suas novas propriedades físicas e químicas.

4.5. TEMA 5: Processos de obtenção de nanomateriais

Não conseguimos realizar a SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.1, o experimento para a obtenção do grafeno em sala de aula, como mencionado no item 3.1.5 do capítulo 3. Assim, mostrei alguns vídeos do Youtube sobre a obtenção do grafeno e um vídeo sobre as futuras aplicações envolvendo o grafeno.

A atividade seguinte, SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.2, consistiu do experimento de auto-arranjo de blocos de plástico na água, que tem como objetivo motivar os alunos a pensarem sobre a construção dos nanomateriais, em especial a construção *bottom-up*. Após a atividade, os alunos responderam à seguinte questão: “Verifiquem o que ocorre após colocarmos os blocos de lego na bacia com a água. Criem hipóteses para justificar o que ocorre.” A primeira resposta abaixo apenas descreve o que se observou, ao passo que as outras oferecem uma explicação. Transcrevemos quatro explicações, porque cada uma é diferente da outra, algumas propondo mecanismos originais (mesmo que errôneos).

R48) Após colocar os blocos na bacia eles começaram a girar e depois pararam, se estabilizando. Os blocos foram colocados separadamente e com o passar do tempo se uniram, exemplificando o modelo macroscópico do auto-arranjo.

R49) Devido as interações, moleculares fortes da água (pontes de hidrogênio), quando colocamos algo na água essas pontes tendem-se a “dobrar” atraindo o que está em volta, mas se o objeto que se acaba de

colocar na água tiver menor massa que os que lá estão, ele que se movimentará até o resto das peças.

R50) O Lego flutua e começa a girar. Posteriormente, ele se acomoda da melhor forma possível e estabiliza. Os átomos são representados pelo Lego. Quando estão livres possuem grande energia e buscam-se agrupar para conseguir ter suas cargas neutralizadas e assim formar uma molécula.

R51) Ao colocar a peça na água o formato da peça e sua massa cria uma curvatura na superfície da água as peças atraem entre si, esse fenômeno se chama tensão superficial.

R52) Os blocos de Lego aos poucos vão ficando mais próximos, até o máximo que conseguirem se agrupar talvez isso aconteça porque as massas se atraem por suas características atômicas semelhantes.

A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.3 envolveu a medição da espessura de uma mancha de óleo sobre a água. “O que acontece quando pingamos uma gota de óleo sobre a água? Justifique. Descreva um procedimento para obter a espessura da mancha de óleo sobre a água.” Os grupos não conseguiram fazer uma estimativa numérica, indicando a dificuldade que esses alunos têm de realizar raciocínios com geometria tridimensional.

R53) Com a água totalmente parada, adicionamos pimenta do reino, para que ela cubra toda a superfície da água, e depois com um conta gotas, pingamos uma gota de óleo na água. Ao pingarmos o óleo, a pimenta depositada ao redor se afasta do óleo, se agrupa mais, dando espaço. Enquanto a gota de óleo se espalha, e forma uma fina camada sobre a água, a pimenta vai se agrupando.

R54) Primeiramente, pega-se uma pipeta e cuidadosamente pinga-se uma pequena gota de óleo sobre a água. Como a água é polar não dilui o óleo. Porém, para aumentar a área de contato, o óleo tende a se espalhar na superfície, formando gotículas menores. Relacionando o volume da água com o volume do óleo (sabemos o seu volume porque é o mesmo

que pingamos) e a seguir comparamos a espessura de ambos, chegando ao valor da gota de óleo.

Apesar das dificuldades que os alunos têm com o raciocínio matemático, essas situações de aprendizagem, realizadas em 2012, foram bastante produtivas em termos de discussão conceitual. Todos os grupos participaram ativamente dos experimentos, da discussão e da formulação de hipóteses explicativas. Quando começamos a discutir os resultados dos experimentos, todos queriam expor suas ideias. Falei da espessura do lápis, de Novoselov & Geim, prêmios Nobel de Física de 2010, e como de forma simples eles isolaram o grafeno. Repetindo a aula de 2010, mostrei o vídeo do Youtube que ensina como isolar o grafeno de forma simples e também o vídeo sobre suas futuras aplicações. Também conversamos sobre a visita que fiz ao laboratório do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Nanomateriais de Carbono na Universidade Federal de Minas Gerais, e como eles produzem amostras de grafeno e de nanotubos de carbono. Muitos alunos perguntaram sobre as pesquisas que indicam que o nanotubo de carbono pode ser cancerígeno, e então discutimos também as questões sobre nanotoxicologia. Em seguida falei da produção dos nanomateriais, da montagem átomo a átomo, para discutirmos auto-arranjo. Como um grupo mencionou o DNA, falamos da auto-organização de moléculas e que dominar esta técnica é um dos grandes desafios da nanotecnologia. Depois discutimos o experimento para estimar a espessura da mancha de óleo, e a realização do experimento por Benjamin Franklin em 1774, em um lago.

4.6. TEMA 6: Ondas eletromagnéticas e espectro EM

Na sequência reformulada, em 2012, dediquei várias aulas para ensinar conceitos básicos a respeito da luz, introduzindo alguns conceitos de física ondulatória, como comprimento de onda e frequência. A seguir, realizamos a SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6.1, envolvendo a construção do espectrômetro a partir de um CD e a discussão sobre a identidade dos átomos.

Os alunos observaram o espectro de seis tipos de lâmpadas: Incandescente, fluorescente branca, fluorescente amarela, fluorescente verde, luz negra e lâmpada de LED azul. Segue um dos relatos dos grupos:

R55) Lâmpada incandescente: observa-se um filamento de cores que são: violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. Lâmpada fluorescente: Observam-se várias faixas de cores com: roxo, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. Lâmpada amarela: roxo, ciano, verde, laranja e vermelho. Lâmpada fluorescente verde: mesmas cores da amarelo com um espaçamento maior na verde. Luz negra: Observam-se mais as cores frias, como roxo e azul. Led: O filete de cores está junto e comprimido com as cores, roxo, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho.

Após as atividades, os alunos foram relatando o que haviam observado e verificou-se que havia diferenças entre as luzes das diferentes lâmpadas, cada lâmpada apresentando um espectro diferente. Nas aulas seguintes, voltamos a falar sobre o espectro eletromagnético e a faixa da luz visível. Discutimos a relação entre frequência e comprimento de onda. Muitos alunos perguntaram como a luz pode transportar energia. Perguntas também foram feitas em relação às frequências maiores, como o caso do raio X, e discutimos os problemas relacionados a saúde humana. Ao analisar o espectro eletromagnético, alguns alunos pediram para esclarecer a diferença entre uma onda sonora e uma onda de rádio. Analisamos os comprimentos de ondas ao longo do espectro, concluindo que a escala manométrica é ocupada pelo raio X

Para finalizar, discutimos o que ocorreu no experimento que realizaram, explicando a refração, a dispersão da luz e as linhas espectrais. Mostrei que cada elemento químico tem um espectro próprio, ou seja, cada elemento tem sua identidade. Alguns alunos mencionaram o espectro das estrelas e planetas, e a identificação dos elementos químicos que as compõem, pois haviam lido sobre isto em revistas de divulgação científica.

4.7. TEMA 7: Nanociência e a sociedade

Após a discussão inicial sobre as relações entre N&N e sociedade, descritas na seção 3.2.2, realizamos a SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7.1, sobre N&N e sociedade. Os alunos leram a entrevista dada por Peter Schulz, publicada no *Jornal da Unicamp* de 2008, e responderam três questões, em grupo. A primeira foi: “Nós conseguiríamos viver sem tecnologia? Justifique”. As opiniões se dividiram, mas a maioria respondeu que somos dependentes da tecnologia:

R56) Poderíamos até conseguir viver, mas não seria nem de longe tão cômodo. Graças ao conhecimento gerados e aplicados na tecnologia, as pessoas já podem se beneficiar de medicamentos ditos “inteligentes”, roupas que não mancham e equipamentos eletrônicos miniaturizados e segundo o artigo isso tudo é apenas uma amostra dos avanços que a nanotecnologia ainda pode trazer.

R57) Não conseguimos viver sem tecnologia, pois a tecnologia proporcionou inúmeros benefícios ao ser humano, e utilizamos a tecnologia como base para o nosso desenvolvimento, causando uma dependência do homem em relação a tecnologia.

A segunda pergunta foi: “Qual a importância da divulgação científica em nanociência para a população? Justifique”. A maioria concordou que a divulgação é muito importante:

R58) A divulgação científica em nanociência é muito importante para não causar falsas expectativas sobre o estágio dos estados e as reais possibilidades de sua aplicação. Por isso é muito importante informar as pessoas em linguagem acessível para evitar que levem as pessoas a acreditar em falsos resultados e aplicações.

R59) É mais uma maneira de tornar a sociedade menos ignorante a respeito do que acontece no meio tecnológico e também do que acontece em

suas vidas e suas rotinas. Além disso, é necessário que a população conheça os princípios da nano para que apoie futuros projetos e afins.

A última pergunta foi: “A população pode interferir na introdução da nanotecnologia no mercado? Como isto seria possível?” Todos afirmaram que sim:

- R60)** Sim, boicotando os produtos baseados em nanotecnologia.
- R61)** Sim, a população pode interferir na introdução da nanotecnologia no mercado, uma vez que a pesquisa científica envolve a ética e a opinião pública. [...]
- R62)** Sim. Dando apoio à nano ou não. Isso seria possível através de manifestações sociais, virtuais e até com uma maior divulgação do tema.
- R63)** Seria possível através de palestras pra conscientizar a população sobre nanociência e assim formariam uma melhor opinião sobre o assunto.

A discussão que se seguiu foi muito interessante. Muitos alunos disseram que realmente desconheciam o uso da nanotecnologia em produtos que já estão no mercado, como comentamos ao longo do curso e como relatou Peter Schulz em entrevista. Os alunos disseram que o tema não é muito divulgado, e quando o é, surge mais como uma propaganda do uso de nanotecnologia para vender xampus e cosméticos. Então fiz um relato sobre a divulgação que existe em sites e no programa “Nanotecnologia do Averso”, realizado por Paulo Martins.

Alguns alunos sugeriram que fizéssemos algo sobre a divulgação da N&N, e chegaram à conclusão que cada grupo poderia apresentar um tema da nanociência e da nanotecnologia na Feira de Ciências que ocorreria na última semana de novembro de 2012. Como tínhamos poucas aulas até a Feira, por conta dos feriados, decidimos construir um blog onde eu poderia postar artigos e ajudá-los na construção dos trabalhos.

Assim, montamos o blog “<http://nanocienciaenanotecnologia.wordpress.com>”, onde colocamos as sugestões sobre os temas para a Feira, e

qualquer dúvida poderia ser enviada por e-mail ou como comentário no blog, para discutirmos em grupo. Os sete temas escolhidos para apresentação na Feira de Ciências já foram listados na seção 3.2.2, um para cada um dos sete grupos formados em nossa classe.

Solicitou-se para os alunos visitantes, de toda a escola, que respondessem a uma pergunta sobre a exposição de N&N que haviam assistido. As respostas, para esta SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7.2, eram feitas em grupos formados por quatro alunos, e recebemos 28 respostas. A pergunta era: “O que achou mais relevante na apresentação sobre Nanociência e Nanotecnologia? Justifique”. Segue abaixo uma amostra das respostas.

R64) É uma área muito importante na ciência, apesar de ser pouco conhecida no Brasil. Achei muito interessante a área da nanoarte, das obras que podem ser feitas através dela e da aparência que elas possuem.

R65) A nanociência é a ciência ou tecnologia que estuda as micros células e suas utilidades, foi muito interessante e dá para fazer várias coisas com as moléculas, como celulares, quadros de arte, música e foi explicado de uma forma dinâmica e clara. As apresentações mostraram bastante a influência e desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil.

R66) Achei triste o fato de a nanotecnologia e a nanociência serem tão pouco divulgada no Brasil, sendo que há tantos cientistas competentes nesse ramo aqui.

R67) Gostei muito da apresentação, pois não conhecia o tema. A nanociência não é muito divulgada, pois não há muito contato com a população e por isso não chama atenção da mesma. Porém é muito utilizada em diversos setores, principalmente nas indústrias em geral. O investimento e a pesquisa em Nanotecnologia vem crescendo e em breve revolucionará a vida humana, sendo usada em diversos lugares.

R68) Achei bastante interessante a apresentação sobre Nanociência e Nanotecnologia, pois é um tipo de tecnologia inovadora e ainda pouco conhecida. A nano arte, foi um dos que gostei, pois é uma forma de arte bem diferente e divertida, por causa de suas formas e cores. No futuro, esse tipo de tecnologia estará bem mais avançada e será bem mais utilizada tanto na arte, música e outros tipos de objetos (eletrônicos em

geral). Em geral, o tema abrangiu várias áreas do nosso próprio cotidiano, mostrando maneiras diferentes de coisas comuns.

- R69)** O mais importante, foi mostrar que partículas extremamente pequenas podem fazer processos extremamente complexos, e podem ser soluções para muitos problemas da humanidade.
- R70)** O conceito em si antes da apresentação era pouco conhecido. Através do trabalho dos segundos anos, pude entender e até me interessar pelo assunto. O abrangimento do assunto entre os trabalhos me apresentou de forma dinâmica os variados temas do mundo nano e com certeza, agora que informada sobre, terei uma boa base sobre o assunto.
- R71)** As suas aplicações na sociedade atual e no futuro, a sua já aplicação no comércio atual e sua preocupação sobre as aplicações e sua relação com o meio ambiente. O futuro com mais nanotecnologia aplicada seria bem melhor.
- R72)** Os nanotubos de carbono que podem criar uma nova era tecnológica e quanto os “nanos” às vezes podem ser prejudiciais e ainda melhorar a qualidade de vida das pessoas.
- R73)** O mais interessante na feira sobre “nano” foi a clara explicação sobre esse ramo de estudo da ciência, a aplicação da nanotecnologia na música, arte e afins foi esclarecedor, dando ao aluno a ideia do que é nanotecnologia, mostrando que além dos países desenvolvidos esse tipo de tecnologia existe (em menor quantidade) nos países subdesenvolvidos. Gostei porque no Brasil essa tecnologia já existe e essa feira serviu para difundi-lo.

A apresentação dos trabalhos na feira foi bastante produtiva e conseguiu mostrar o quanto a nanociência e a nanotecnologia é interdisciplinar. Também teve uma ótima repercussão entre os alunos e professores que visitaram os estandes, e os alunos conseguiram divulgar e informar a comunidade sobre o que aprenderam no curso. Os professores, em especial a professora de biologia e a de língua portuguesa, ficaram impressionados com o desenvolvimento da N&N e me pediram referências de materiais para introduzir as questões também em suas aulas.

Após a realização da Feira, tivemos apenas mais uma aula para discutirmos os resultados e solicitei aos grupos que fizessem uma avaliação do curso, a SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7.3. Seguem abaixo as respostas dos sete grupos.

- R74)** O curso foi muito bem aproveitado, com um tema interessante, muito bem abordado e absorvido pelos alunos. O interessante seria aproveitar um pouco mais outros assuntos na área de física, pois apesar de pertinente, o tema nanotecnologia não pode ser tratado como foco principal.
- R75)** Ao decorrer do ano letivo nós expandimos os nossos conhecimentos em relação aos conceitos de nanotecnologia, através das aulas teóricas e práticas. Foram feitos trabalhos e atividades para estudar de forma efetiva a nanociência, mas essa matéria ocupou grande parte de um semestre.
- R76)** A nanotecnologia é algo que é pouco conhecido pela sociedade. Então essas aulas que tivemos de física foram ótimas. Porque essa tecnologia é algo será muito presente no futuro. Então essas aulas foram muito úteis.
- R77)** O curso de nanotecnologia foi muito proveitoso, trouxe muito conhecimento de uma área que não tínhamos conhecimento e muitas pessoas não tem. Um ponto positivo do curso foi a quantidade de experiências e de aulas com apresentações de slides, o problema, pelo menos este ano, foi a grande quantidade de feriados que caíram nas sextas feiras.
- R78)** Durante as aulas voltadas ao tema de nanotecnologia, foram passados os conceitos iniciais do que é o nano e em seguida sua história, descoberta e aplicações. As informações foram muito importantes, a nanotecnologia como profissão para o futuro deve ser cada vez mais explorada na escola.
- R79)** Quanto ao curso, é realmente um diferencial, pois, apesar de ser uma revolução tecnológica, poucas pessoas conhecem e tem acesso a esse tipo de conhecimento. Porém faltou voltar um pouco para o vestibular,

afinal é um interesse muito grande da maioria dos alunos do ensino médio.

R80) As aulas de nanotecnologia foram muito interessantes e acrescentaram um diferencial à Física. Acredito que não são todas as escolas que fornecem material e aulas desse tipo.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi explorar como introduzir conceitos da nanociência e nanotecnologia no ensino médio, e como avaliar, por meio de métodos da área de ensino e aprendizagem, o sucesso de tal introdução.

Considero que o balanço geral do projeto foi satisfatório. O curso de N&N foi realizado duas vezes em uma escola pública, em 2010 e 2012. Aulas teóricas cobrindo aspectos introdutórios da N&N foram ministradas e diversas situações de aprendizagem foram realizadas, envolvendo atividades experimentais e questionários. Para a construção da sequência didática inicial, seguiu-se a metodologia da Transposição Didática de Chevallard. A análise dos questionários dos alunos no curso ministrado em 2010 trouxe subsídios para que se pudesse refletir e reformular a sequência didática para ser reaplicado em 2012. Como a metodologia da Transposição Didática exigia uma sequência didática mais longa, resolvi na sequência reformulada utilizar a Sequência de Ensino-Aprendizagem de Méheut & Psillos, que propõe uma sequência mais curta, construída durante o processo de aplicação. Utilizei também o enfoque da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) para guiar a elaboração das situações de aprendizagem e nortear algumas discussões.

Após a reaplicação da sequência didática no segundo semestre 2012, na disciplina regular de física, em um bimestre, buscou-se diminuir as atividades iniciais, que tratam das escalas, e focar mais nas propriedades físicas das nanoestruturas de carbono, e nas discussões sobre nanotecnologia e sociedade, dentro do contexto da CTS.

A princípio o foco era utilizar como tema gerador a física de nanoestruturas e seu impacto social. No entanto, como as atividades foram construídas para que houvesse uma maior participação dos alunos, a sequência foi sendo construída de forma diferente, e apesar de ser abordado o aspecto físico das nanoestruturas, com discussão de diversos temas da N&N, não ficamos atrelados apenas ao conteúdo de física, mas também aprofundamos as discussões sobre o impacto da introdução da nanotecnologia

na sociedade. Esta mudança foi o tema que gerou maior interesse por parte dos alunos e o que os motivou para a realização da Feira de Ciências.

Considerando a avaliação feita pelos alunos, fica claro o dilema da educação, que por um lado se quer formativa, mas por outro busca focar no vestibular. Todos os grupos avaliaram o curso como inovador e positivo, e alguns grupos sugeriram que cursos sobre nanociência e nanotecnologia façam parte do currículo escolar, dado que estas áreas impactarão fortemente na sociedade contemporânea. Por outro lado, alguns grupos também acharam que houve uma perda no aprofundamento em questões para a realização do vestibular.

Essa preocupação dos alunos se dá no modelo tradicional de ensino, onde as aulas de física são compostas apenas por aulas focadas em resolução de problemas, na manipulação de fórmulas matemáticas e na memorização descontextualizada. A contextualização do ensino envolveria uma aprendizagem melhor de conceitos e das relações históricas e filosóficas que envolvem a construção do conhecimento científico, e uma maior discussão sobre as implicações dos impactos das tecnologias nas sociedades. Há também a questão relativa à própria concepção de uma escola técnica estadual, onde os alunos fazem uma avaliação e são selecionados para cursar o ensino médio. Apesar do ensino por competências e habilidades se constituir como modelo político e pedagógico da instituição, ocorre uma tensão por parte da comunidade, que em sua grande maioria é seduzida a colocar seu filho na escola técnica pública por conta da obtenção, por parte dos antigos alunos, de altos índices no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), e por consequência do ingresso de muitos em excelentes universidades públicas do país.

A introdução de conceitos de nanociência e nanotecnologia no ensino médio também deve ser entendida como uma atividade interdisciplinar, pois essas áreas são essencialmente interdisciplinares. Pensando em uma ampliação deste trabalho, seria importante considerar uma proposta para a formação de professores, para que possamos atingir o objetivo da educação em N&N em um maior número de escolas.

O curso com um formato mais aberto à participação dos alunos como protagonistas teve resultados satisfatórios. Foram introduzidos conceitos de nanociência e nanotecnologia nas aulas de física do ensino médio, e a partir

destes conceitos houve o incentivo para que os alunos tomassem decisões, como a idealização da Feira de Ciências, onde puderam discutir com a escola os temas que consideraram mais relevantes durante as aulas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI, *Estudo Prospectivo nanotecnologia*. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, Brasília, 2010a.
- ABDI, *Nanotecnologias. Subsídios para a problemática dos riscos e regulação*. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, Brasília, 2010b.
- ABDI, *Nanotecnologia. Panorama da Nanotecnologia no Mundo e no Brasil*. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, Brasília, 2008.
- ALFORD, K.J.S.; CALATI, F.; CLARKE, A. & BINKS P.N. Creating a spark for Australian science through integrated nanotechnology studies at St. Helena Secondary College. *Journal of Nano Education*, v. 1, p. 68-74, 2009.
- ALTMANN, J. Nanotecnologia e a questão militar. In: MARTINS, P.R. (org.). *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente: 1º Seminário Internacional*. São Paulo: Humanitas, p. 33-41, 2005.
- ALVES, O.L. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre o presente e futuro não é apenas questão de tempo. *Parcerias Estratégicas*, n. 18, p. 23-40, 2004.
- ALVES FILHO, J.P. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 17, n. 2, p. 174-88, 2000.
- ASHLEY, S. Grafeno moído. *Scientific American Brasil*, n. 83, p. 18, 2009.
- ASTOLFI, J.P. & DEVELAY, M. *A Didática das Ciências*. Campinas: Papirus, 13ª edição, 2009.
- AULER, D. Novos caminhos para a educação CTS: ampliando a participação. In: SANTOS, W.L.P. & AULER, D. *CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 73-97, 2011.
- AULER, D. & BAZZO, W.A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2001.
- AULER, D. & DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, v.3, n.1, p.105-14, 2001.
- BERGOLI, R.S. *Nanotubos de Carbono interagindo com selênio: Uma situação de primeiros princípios*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

- BOGDAN, R.C. & BIKLEN, S.K. *Investigação Qualitativa em Educação*. Porto: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*. Brasília: Ministério da Educação / Secretaria da Educação Média e Tecnológica, 1999.
- BRASIL. *PCN⁺ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Ciências da natureza e suas tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação / Secretaria da Educação Média e Tecnológica, 2002.
- BROCKINGTON, G. & PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.
- BUTY, C.; TIBERGHIE, A. & MARÉCHAL, J.F. Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, v. 26, n. 5, p. 37-41, 2004.
- CACHAPUZ, A.F. Tecnociência, poder e democracia. In: SANTOS, W.L.P. & AULER, D. (org.). *CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa*, Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 49-72, 2011.
- CARMO, A.B. *A Linguagem Matemática em uma Aula Experimental de Física*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2006.
- CARVALHO, A.M.P. O uso de vídeo na tomada de dados: pesquisando o desenvolvimento do ensino em sala de aula. *Pro-Posições*, Unicamp, v. 7, n. 1, p. 5-13, 1996.
- CASTILHO, C.M.C.D. Quando e como o homem começou a “ver” átomos! *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 4, p. 364-73, 2003.
- CHAVES, A. Nanociência e nanotecnologia. *Comciência*, Unicamp, v. 37, nov. 2002. Disp. em: <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano17.htm> .
- CHEVALLARD, Y. *La Transposición Didáctica: Del saber sabido al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique, 1991.
- CHIQUITO, A. J & LANCIOTTI, F. O transistor, 50 Anos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.20, n.4, p. 309-314, 1998.
- CRUZ, S.S.M & ZYLBERSZTAJN, A. O enfoque ciência, tecnologia e sociedade e a aprendizagem centrada em eventos. In: PIETROCOLA, M. (org.). *Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e epistemologia*

- numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001, p. 171-96.
- DELIZOICOV, D. Ensino de Física e a concepção freiriana de educação de educação. *Revista de Ensino de Física*, vol.5, n.2, 1983.
- DELIZOICOV, D. *Conhecimento, Tensões e Transições*. 1991. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE. Design-based research: an emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, v. 32, n. 5, p. 1-5, 2003.
- FEYNMAN, R. There's plenty of room at the bottom. *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol.1, n.1, p. 60-66, 1992. Transcrição da palestra dada em 1959. Tradução para o português: Há mais espaços lá embaixo. Trad. R. Belisário & E.G. de Souza. *Comciência*, Unicamp, v. 37, nov. 2002. Disp. em: <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano19.htm> .
- FISCHLER, H. & LICHTFELDT, M. Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, v. 14, n. 2, p. 181-90, 1992.
- FREIRE, P. *Pedagogia da Esperança: um reencontro com a Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.
- FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. 17ª Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.
- GALILEI, G. *Duas novas ciências [Discorsi]*. Trad. L. Mariconda & P. Mariconda. São Paulo: Ched Editorial / Nova Stella / Istituto Italiano di Cultura, 1985. Original: 1638.
- GRECA, I.M. & MOREIRA, M.A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 6, n. 1, p. 1-29, 2001.
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M.A. & HERSCOVITZ, V.E. Uma proposta para o ensino e mecânica quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 4, p. 444-57, 2001.
- GEIM, A.K. & KIM, P. A versatilidade do carbono. *Scientific American Brasil*, n. 72, 2008, p. 80-7.
- GEIM, A.K. & NOVOSELOV. The rise of graphene. *Nature Materials*, v.6, p.183-191, 2007.
- GIL, D. P., SENENT, F., SOLBES, J. Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la Física*, Rosario, v. 2, n. 1, p. 16-21, 1988.

- GRUNER, G. Nano-redes de carbono estimulam nova eletrônica. *Scientific American Brasil*, v. 61, p. 68-75, junho 2007. Reimpresso em número especial n. 22: *Nanotecnologia*, p. 50-57, 2008.
- HEALY, N. Why nano education? *Journal of Nano Education*, v. 1, n. 1, p. 6-7, 2009.
- HERBST, M.C.; MACEDO, M.I.F. & ROCCO, A.M., Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar. *Química Nova*, v. 27, n. 6, p. 986-92, 2004.
- HEWITT, P.G. *Física conceitual*. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- HEY, J.H.G.; JOYCE, C.K.; JENNINGS, K.E.; KALIL, T. & GROSSMAN, J.C. Putting the discipline in interdisciplinary: using speedstorming to teach and initiate creative collaboration in nanoscience. *Journal of Nano Education*, v. 1, n. 1, p. 75-85, 2009.
- HOOVER, E.; BROWN, P.; AVERICK, M.; KANE, A. & HURT, R. Teaching small and thinking large: effects of including social and ethical implications in an interdisciplinary nanotechnology course. *Journal of Nano Education*, v. 1, n. 1, p. 86-95, 2009.
- IJIMA, S. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, v. 354, p. 56-58, 1991.
- IJIMA, S. & ICHIHASHI, T. Single-shell carbon nanotubes of 1 nm diameter. *Nature*, v. 363, p. 603-5, 1993.
- JENKINS, T. A brief history of ... semiconductors. *Physics Education*, p. 430-439, 2005.
- KABAPINAR, F.; LEACH, J. & SCOTT, P. The design and evaluation of a teaching-learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. *International Journal of Science Education*, v. 26, n. 5, p. 635-52, 2004.
- KHAN, A. I. Pré-1900 Semiconductor Research and Semiconductor Device Applications. <http://www.ieeeeghn.com/wiki/images/0/09/Khan.pdf>. Acessado em 15/11/2010.
- KITTEL, C. *Introdução a Física do Estado Sólido*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.
- KNOBEL, M. Partículas finas: superparamagnetismo e magnetoresistência gigante. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 3, p. 387-95, 2000.
- KNOBEL, M. Nanoredes. *Parcerias Estratégicas*, n.18, p. 99-104, 2004.

- KNOBEL, M. & MACEDO, W.A.A. O prêmio Nobel de física de 2007, gravação magnética e spintrônica. *A Física na Escola*, v. 8, n. 2, p. 33-5, 2007.
- KROTO, H.W.; HEATH, J.R.; O'BRIEN, S.C.; CURL, R.F. & SMALLEY, R.E. C₆₀: Buckminsterfullerene. *Nature*, v. 318, p. 162-3, 1985
- KRUEGER, A. *Carbon Materials and Nanotechnology*. Weinheim: Wiley-VCH, 2010.
- LACEY, H. *Valores e atividade científica*. São Paulo; Editora 34, 2008.
- LAWRENCE, I. Quantum physics in school. *Physics Education*, v. 31, n. 5, p. 278-86, 1996.
- LIJNSE, P. & KLAASSEN, K. Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, v. 26, n. 5, p. 537-54.
- MAFRA, D. L. Dispersão de fônons na vizinhança do ponto de Dirac do grafeno por espalhamento Raman. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
- MARTINS, I. P & PAIXÃO, M. F. Perspectivas atuais Ciências-Tecnologia-Sociedade no ensino e na investigação em educação em ciências. In: SANTOS, W.L. P. & AULER, D. (org.). *CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p.135-60, 2011.
- MARTINS, P.R. (org.) *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*, 1º Seminário Internacional. São Paulo: Associação Editorial Humanitas, 2005.
- MARTINS, P.R. (org.) *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*, 2º Seminário Internacional. São Paulo: Xamã, 2006.
- MARTINS, P.R. *Revolução Invisível. Desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil*. São Paulo: Xamã, 2007.
- MELO, C. & PIMENTA, M. Nanociências e nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas*, n. 18, p. 9-12, 2004.
- MÉHEUT, M. Designing and validating two teaching sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, v. 26, n. 5, 605-18, 2004.
- MÉHEUT, M. & PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, v. 26, n. 5, 515-35, 2004.

- MCT. *Relatório Nanotecnologia: Investimentos, Resultados e Demandas*. Brasília: Ministério da Ciência e da Tecnologia, 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em abril de 2011.
- MCT. *Programa Nacional de Nanotecnologia*. Brasília: Ministério da Ciência e da Tecnologia, 2010.
- MURRIELLO, S.; CONTIER, D.; TAVES, J.S. & KNOBEL, M. NanoAventura: uma exposição sobre nanociência e nanotecnologia. In: *X Reunión de la Red de Popularización de la Ciencia y la Tecnología en América Latina y el Caribe (RED POP - UNESCO) y IV Taller "Ciencia, Comunicación y Sociedad"*. San José, Costa Rica, 2007
- MONTENEGRO, R.L & PESSOA JR., O. Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 2, p. 107-26, 2002.
- MODY, C.C. The larger world of nano. *Physics Today*, v. 61, n. 10, p. 38-44, 2008.
- NOVOSELOV, K.S.; JIANG, D.; SCHEDIN, F.; BOOTH, T.J.; KROTKEVICH, V.V.; MOROZOV, S.V. & GEIM, A.K. Two-dimensional atomic crystal. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A*, v. 102, n. 30, p. 10451-53, 2005.
- NOVOSELOV, K.S.; GEIM, A.K.; MOROZOV, S.V, JIANG, D.; DUBONOS, S.V.; GRIGORIEVA, I.V. & A.A. FIRSOV. Electric field effect in automatically thin carbon films. *Science*, v.306, p. 666-669, 2004.
- NTP – NEW TRADITIONS PROJECT. Diamonds, buckyballs, and graphite. Madison: Dept. of Chemistry, University of Wisconsin, 1996. Disponível em: <http://www.chem.wisc.edu/~newtrad/CurrRef/BDGTopic/BDGtext/BDGtoc.html>
- OKA, M.M. *História da Eletricidade*. Notas de aula, novembro de 2000. <http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>. Último acesso: 01/06/2013.
- OSTERMANN, F.; FERREIRA, L.M. & CAVALCANTI, C.J.H. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 20, n. 3, p. 270-78, 1998.
- OSTERMANN, F. & CAVALCANTI, C.J.H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: Elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 3, p. 267-86, 1999.

- OSTERMANN, F. & MOREIRA, M.A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 1, 2000.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Ensenanza de las Ciencias*, Barcelona, v.18, n. 3, p. 391-404, 2000.
- OSTERMANN, F. & PUREUR, P. *Supercondutividade*. São Paulo: Livraria da Física, 2005.
- OSTERMANN, F. A inserção da física moderna no nível médio: um projeto que visa à introdução do tema da supercondutividade em escolas brasileiras. Caderno de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana, vol. 04, p.81-88, 2006.
- PCN⁺, *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: MEC-SEMTEC, 2002.
- PESSOA JR., O. *Conceitos de Física Quântica*. vol. 1. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.
- PIETROCOLA, M. & AZEVEDO, M.C.P.S. Será a Física Clássica pré-requisito para o ensino de Física Moderna? Uma experiência de inserção de elementos de mecânica quântica no Ensino Médio a partir do estudo de luz e cor. In: *Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física, 2005.
- PINTO, A. C. & ZANETIC, J. É possível leva a Física Quântica para o Ensino Médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.16, n.1,p.7-34, 1999.
- REGIS, E. *Nano: A ciência emergente da nanotecnologia refazendo o mundo – molécula por molécula*. Rio de Janeiro: Rocco, 1997.
- ROCO, M.C. International Strategy for Nanotechnology Research and Development. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 3, p. 353-60, 2001.
- ROUKES, M. Espaço suficiente lá embaixo. *Scientific American Brasil*, número especial n. 22: *Nanotecnologia*, p. 6-13, 2008.
- SALINAS, S.R.A. Einstein e a teoria do movimento browniano. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 2, p. 263-269, 2005.
- SALVADORI, M. C. Notas de aula do curso Microscopia de Força Atômica e Tunelamento. São Paulo: Instituto de Física da USP, 2011.
- SANTOS, W. L. P. *Significados da educação científica com enfoque CTS*. In: SANTOS, W.L. P. & AULER, D. (Org.). *CTS e educação científica*:

desafios, tendências e resultados de pesquisa. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 21-47, 2011.

SANTOS, F.M.T. & GRECA, I.M. *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas metodologias*. Ijuí: Editora Unijuí, 2006.

SANTOS, M.E.V.M. Cidadania, conhecimento, ciência e educação CTS. Rumo a “novas” dimensões epistemológicas. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, v. 2, n. 6, p. 137-57, 2005.

SANTOS, W.L.P. & MORTIMER, E.F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 2, n. 2, p. 1-23, 2002.

SILVA, C.G. O que é Nanotecnologia? *Comciência*, Unicamp, v. 37, nov. 2002. Disp. em: <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano10.htm> .

SILVA, W.R. *Inserção de Tópicos da Nova Física da Estrutura da Matéria no Currículo do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades em Ensino de Ciências. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

SILVA, S.L.A.; VIANA, M.M. & MOHALLEM, N.D.S. Afinal, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma abordagem para o ensino médio. *Química Nova na Escola*, v.31, nº 3, p. 172-178, 2009.

SIQUEIRA, M.R.P. *Do Visível ao Indivisível: Uma Proposta de Ensino de Física de Partículas Elementares para Educação Básica*. Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades em Ensino de Ciências. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

SCHULZ, P.A.B. O que é nanociência e para que serve a nanotecnologia? *Física na Escola*, v. 6, n. 1, p. 58-62, 2005.

SCHULZ, P.A.B. Nanociência de baixo custo em casa e na escola. *Física na Escola*, v. 8, n. 1, p. 4-9, 2007a.

SCHULZ, P.A.B. De volta para o futuro: os precursores da nanotecnociência. *Cadernos IHU Ideias*, v. 95, p. 17, 2007b.

SCHULZ, P.A.B. *A encruzilhada da nanotecnologia*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2009.

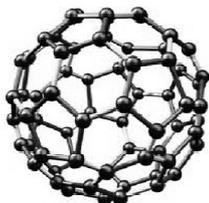
SWART, J. W. Evolução de Microeletrônica a Micro – Sistemas. <http://ccspc-010.ccs.unicamp.br/cursos/fee107/download/cap01.pdf>. Acessado em 15/11/2010

- VALADARES, E.C.; CHAVES, A. & ALVES, E.G. *Aplicações da Física Quântica: do Transistor à Nanotecnologia*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.
- VIET, E.A.; THOMAS, G.; FRIES, S.G.; AXT, R. & SELISTRE, L.F. O efeito fotoelétrico no 2º grau via microcomputador. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 4, n. 2, p. 68-88, 1987.
- VOGT, C. Admirável Nano Mundo-novo. *Comciência*, Unicamp, v. 37, nov. 2002. Disp. em: <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano01.htm> .
- WANSON, S.; MASON, T.O.; HERSAM, M.C.; DRANE, D.; LICHT, G.; CORMIA, R.; STEVENS, S. & BODNER, G. A rubric for post-secondary degree programs in nanoscience and nanotechnology. *International Journal of Engineering Education*, v. 25, p. 615-27, 2009.
- WEHLING, T.O.; NOVOSELOV, K.S.; MOROZOV, S.V.; VDOVIN, E.E.; KATSNELSON, M.I.; GEIM, A. K.; LICHTENSTEIN, A. I. Molecular Doping of Graphene. *Nano Letters*, v. 8, p. 173-77, 2008.
- WHITESIDES, G.M & LOVE, J.C. A arte de construir pequeno. *Scientific American Brasil*, número especial n. 22: *Nanotecnologia*, p. 15-23, 2008.
- WOLF, E.L. *Nanophysics and Nanotechnology*. Weinheim: Wiley-VCH, 2ª edição, 2009.

ANEXOS

1. Situação de aprendizagem 6.1: Montagem do espectrômetro	111
2. Situação de aprendizagem 7.1: Entrevista com Peter Schulz	113
3. Fotos da Feira de Ciências e experimentos	115

ANEXO 1: SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6.1



INTRODUÇÃO DE CONCEITOS DA NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA 2012

Tema 6

Situação de aprendizagem 6.1: Montagem do Espectrômetro

1. Material Utilizado

Caixa de Pasta de dente

CD

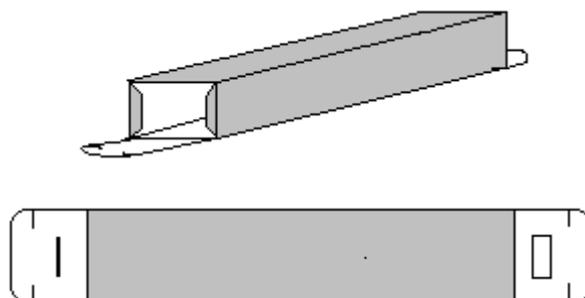
Fita adesiva

Tesoura

2. Procedimento

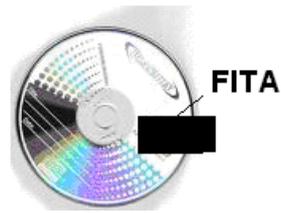
6. Faça um corte retangular (1cm x 0,5cm) em uma das tampas da caixa.

7. E uma pequena fenda com o estilete (1cm x 0.2mm) na outra tampa paralela ao corte retangular.



- Retire a camada superior do CD com fita adesiva. E recorte um pedaço retangular que seja um pouco maior que o corte feito na

caixa.(cuidado para não encostar na superfície do CD após retirar a camada superior)



- Com fita adesiva, prenda o pedacinho de CD na parte interna da tampa, sobre o corte e feixe a caixa.



- Coloque fita nos cantos da tampa para que a luz passe somente pelos dois orifícios.
3. Experimentando, observando, criando hipóteses..
- 1 Aponte a fresta para um tipo de lâmpada e olhe através do “visor” de CD. Represente com um desenho o que vê no interior da caixa, compare e descreva as diferenças.

O estranho íntimo

MANUEL ALVES FILHO
manu@ferraria.unicamp.br

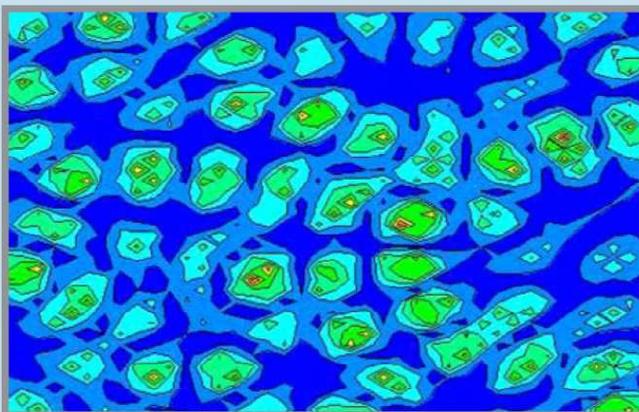
O norte-americano Richard Feynman, ganhador do Nobel de Física de 1956, provocou ceticismo na plateia quando antecipou, durante conferência apresentada em dezembro de 1959, que a ciência seria capaz de manipular e arranjar os átomos como se fossem os tijolos que compõem uma parede. Os espectadores jamais poderiam imaginar que a palestra, apresentada por ocasião de um encontro da Sociedade Americana de Física, seria considerada, anos depois, como fundadora das bases para o desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia. Atualmente, os dois termos foram fundidos, dando origem a um terceiro, a nanotecnociência. Graças aos conhecimentos gerados e aplicados por essa área, as pessoas já podem se beneficiar de medicamentos ditos “inteligentes”, roupas que não mancham e equipamentos eletrônicos miniaturizados, apenas para citar três exemplos. E o que é melhor: isso tudo promete ser apenas uma pequena representação diante do que a nanotecnociência ainda pode proporcionar.

Na mesma conferência, Feynman previu que, no futuro, os 24 volumes da Enciclopédia Britânica seriam inscritos na cabeça de um alfinete. O pressuposto evidentemente não fazia parte de um objetivo prático, mas sim simbólico. Entretanto, decorrido quase meio século, cientistas israelenses anunciaram, em 2007, ter gravado os textos do Velho Testamento sobre uma superfície de 0,5 milímetro quadrado de silício, coberta por uma camada de ouro de 20 nanômetros. “Ainda não se trata de Enciclopédia Britânica, mas estamos praticamente lá”, avalia Peter Alexander Bleinroth Schulz, professor do Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW) da Unicamp.

De acordo com ele, embora a maioria da população ainda não tenha percebido, os produtos gerados pela nanotecnociência já estão incorporados ao seu dia-a-dia. “Isso acontece, penso eu, por dois motivos. Primeiro, por tratar-se de um assunto pouco debatido fora da academia e da indústria. Segundo, porque a educação científica ainda é incipiente na sociedade como um todo. Na tarefa de tornar esse tema mais familiar às pessoas, o jornalismo científico tem um papel fundamental”, considera. Nas palavras do professor Peter Schulz, a conjugação desses fatores faz com que a nanotecnociência seja um “estranho íntimo” das pessoas. Mas afinal, o que vem a ser essa nova área do conhecimento? O docente da Unicamp explica que o termo nanotecnociência foi cunhado recentemente, em razão de os pesquisadores entenderem que nesse segmento não é possível dissociar ciência e tecnologia.

Ademais, prossegue ele, determinados avanços da ciência fundamental somente foram possíveis em razão dos progressos tecnológicos e vice-versa. “Percebemos que é muito difícil distinguir um aspecto do outro. A ciência nem sempre cumpre uma sequência linear, que parte da pesquisa básica, passa pelo desenvolvimento tecnológico e culmina com o produto”. Peter Schulz assinala que a nanotecnociência é uma atividade essencialmente multidisciplinar. Quase que invariavelmente, os estudos exigem a participação de especialistas de diversas áreas, que vão da física à biologia, passando pela química. Dito de maneira simplificada, o objeto de estudo da nanotecnociência é o átomo, que constitui a menor parte de qualquer matéria.

O prefixo “nano”, do grego, significa



Representação mostra densidade eletrônica em uma superfície com desordem programada, em cálculo realizado por Rodrigo André Caetano durante seu doutorado no IFGW



Peter Schulz, professor do IFGW. Físico defende um diálogo mais aberto e transparente com a sociedade

Foto: Antônio Pini

“ano”. A partícula vem sendo empregada pelos cientistas para designar unidades de medida. Um nanômetro, por exemplo, corresponde a um bilionésimo do metro. Apenas para dar um exemplo do que isso representa, um nanômetro é o comprimento de dez átomos de hidrogênio enfileirados ou a distância de três pares de base do DNA humano. Para usar uma frase que já se tornou corrente no universo da nanotecnociência, o que os pesquisadores fazem é trabalhar com escalas extremamente pequenas para alcançar grandes resultados. Na opinião de Peter Schulz, por ser uma área relativamente nova, a nanotecnociência ainda oferece muitas possibilidades. Num horizonte mais próximo, considera, deverão surgir novos medicamentos “inteligentes”. Estes devem incorporar ainda mais fortemente o que os especialistas denominam de *Drug Delivery Systems* (DDS). Uma vez administrada no organismo, a droga vai ser “entregue” exatamente no local onde deve atuar, como nas células cancerígenas. Nesse caso, o princípio ativo normalmente é encap-

sulado em nanopartículas que cumprem a função de transportá-lo. “Também deveremos ter novidades na área da eletrônica. O limite é fazer com que um *bit* de informação seja equivalente a um átomo”, antecipa o docente da Unicamp.

Embora revele otimismo em relação às possibilidades abertas pelas pesquisas em nanotecnociência, Peter Schulz também considera ser recomendável ter cautela e responsabilidade no que toca a alguns aspectos. De acordo com ele, um cuidado indispensável, sobretudo por parte da comunidade científica, é não criar falsas expectativas na população. Para evitar que isso ocorra, o físico defende um diálogo mais aberto e transparente com a sociedade. “Penso que é preciso informar as pessoas, em linguagem acessível, sobre o estágio dos estudos e as reais possibilidades de sua aplicação. Temos que evitar o que aconteceu, por exemplo, quando do início do Projeto Genoma Humano. A época, as pessoas foram levadas a acreditar que, uma vez decodificado o genoma, a cura para todos os males e mais alguns estaria no horizonte de alguns anos. Como

sabemos, isso não está acontecendo”.

Outra preocupação do docente da Unicamp está relacionada com as eventuais consequências ocasionadas pelos produtos e processos gerados pela nanotecnociência. Esse ponto, adverte, tem sido pouco estudado pela ciência. “Os recursos e esforços para se verificar se existem efeitos colaterais, para checar se determinada tecnologia pode ou não ser poluidora, não são tão amplos quanto deveriam ser”, constata. Um episódio recente ilustra bem esse problema. Uma empresa fabricante de equipamentos eletroeletrônicos produziu uma linha de refrigeradores, lavadoras de roupa e condicionadores de ar que utiliza uma tecnologia batizada de *Silver Nano*. Dito de modo simplificado, os filtros dos aparelhos são impregnados de nanopartículas de prata, material que tem elevada propriedade bactericida.

Ocorre, entretanto, que após o lançamento dos produtos, que foi precedido de intensa campanha publicitária, alguns setores começaram a levantar a hipótese de que, após serem lançados ao meio ambiente, as nanopartículas de prata pudessem matar também microrganismos benéficos. “Isso levou os Estados Unidos a propor leis específicas para o uso dessa tecnologia, o que teve influência no marketing criado em torno dessa linha de eletrodomésticos”, informa Peter Schulz. De acordo com ele, esse episódio é emblemático do ponto de vista da responsabilidade do cientista em relação às implicações do seu trabalho. “Não podemos perder a perspectiva de que a pesquisa científica envolve a ética e a opinião pública”.

O físico revela gostar muito de uma frase da socióloga espanhola Amparo Lasen, que estuda os fenômenos relacionados à comunicação por meio da telefonia e internet. Segundo ela, “toda grande mudança tecnológica é um conjunto de embates e negociações entre as partes interessadas”. Ou seja, a aplicação do conhecimento científico também é permeada por uma série de interesses, situação que nem sempre é transmitida à sociedade. “Considero interessante a ideia de que o cientista tenha uma responsabilidade que vá além do laboratório. Penso que tal postura não representa qualquer entrave ao desenvolvimento científico. Ao contrário, é bastante útil a ele. A ciência precisa perder um pouco da sua pretensa neutralidade”, avalia.

Atualmente, Peter Schulz desenvolve estudos relacionados com simulações numéricas, cujo objetivo é desvendar as propriedades de dois sistemas, ambos candidatos a uma possível nanoeletrônica. Num deles, o pesquisador investiga os atributos eletrônicos das moléculas da DNA. “Como o DNA tem a capacidade de se auto-arranjar, a pergunta que estamos tentando responder é: o que será que acontecerá se programarmos uma sequência artificial de guanina, citosina etc? Essas bases nitrogenadas vão se transformar em condutores ou isolantes? E mais: será que se eu inserir uma partícula de ouro, esse sistema vai se transformar num dispositivo eletrônico?”.

O outro estudo conduzido pelo docente da Unicamp relaciona-se com um novo material, o grafeno, uma espécie de folha de dimensões nanoscópicas composta apenas por átomos de carbono, com propriedades eletrônicas extremamente promissoras. “Estamos tentando compreender melhor essas características. Numa segunda etapa, vamos tentar manipular esse material em escala nanométrica. O objetivo final é empregá-lo na eletrônica, em substituição, por exemplo, ao silício usado na fabricação de chips de computadores”, detalha o cientista.

ANEXO 3: FOTOS DA FEIRA DE CIÊNCIAS E DOS EXPERIMENTOS



Foto 1: Conhecendo a nano



Foto 2: Nano e música



Foto 3: Nanoarte



Foto 4: Nanotecnologia na sociedade



Foto 5: Modelo de nanotubo



Foto 6: Modelo de grafeno



Foto 7: Balde de água mancha de óleo



Foto 8: Detalhe com pimenta do reino e gota ainda não espalhada



Foto 9: Combustão de palha de aço com pilha



Foto 10: Blocos de plástico na água



Foto 11: Espectrômetros caseiros



Foto 12: Lâmpadas