

ENSINO & MULTIDISCIPLINARIDADE

Jul. | Dez. 2018 – Volume 4, Número 2, p. 33--52.

Uma abordagem sobre nanociência e nanotecnologia na Educação Básica

An approach on nanoscience and nanotechnology in Basic Education

Jairo Veras Alves¹ - <https://orcid.org/0000-0001-6388-4788>
Maria Consuelo Alves Lima² - <https://orcid.org/0000-0002-2514-9069>

¹Licenciando em Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). São Luís, Maranhão, Brasil.
E-mail: jairoveras.j@gmail.com.

² Doutora em Física pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professora do Departamento de Física e do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPECEM) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão, Brasil. E-mail: mca.lima@ufma.br

Resumo

Neste estudo, descrevem-se e analisam-se procedimentos de elaboração e aplicação de uma sequência didática sobre noções básicas de materiais na escala nanométrica. Produtos da nanociência e da nanotecnologia, embora disponíveis no mercado, são quase desconhecidos pelo cidadão comum. Diante da importância de a população ter conhecimento sobre esses produtos, uma sequência didática foi desenvolvida com estudantes da Educação Básica. Essa sequência contemplou: os avanços que esse campo de estudo tem possibilitado ao homem; a presença de materiais nanométricos no cotidiano da sociedade, inovações de mercado e perspectivas futuras; produtos em desenvolvimento; visões futurísticas; e algumas preocupações com possíveis interferências dessa ciência sobre os indivíduos, relacionadas a problemas ambientais e sociais. A produção de conhecimento analisada, após a aplicação da sequência didática, permitiu constatar a ampliação de conhecimento científico e tecnológico dos educandos, um maior interesse pela compreensão da ciência e uma maior motivação para participar de debates como agentes sociais para decidir sobre questões da ciência e da tecnologia.

Palavras-chave: Nanociência e nanotecnologia. Ensino de Física. Sequência Didática.

Abstract

In this study are described and analyzed the procedures for the preparation and application of a didactic sequence on basic notions of materials on the nanometer scale. Nanoscience and nanotechnology products, although available on the market, are almost unknown to ordinary people, and given the importance of a population having knowledge about these products, a developed didactic sequence, with Basic Education students. The didactic sequence contemplated: advances that this field of study has enabled man; the presence of nanometric materials in society's daily life, market innovations and future prospects; products in development; futuristic forecasts; and some concerns about possible interferences of this science on individuals, relating to environmental and social

Como citar: ALVES, J. V.; LIMA, M. C. A.. Uma abordagem sobre nanociência e nanotecnologia na Educação Básica. *Ensino e Multidisciplinaridade*, v. 4, n. 2, p. 33-52, 2018.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

problems. The knowledge production analyzed, after the application of the didactic sequence, shows the expansion of scientific knowledge of students and a greater interest in understanding science and to participate in debates as expert to decide on issues of science and technology.

Keywords: Nanoscience and Nanotechnology. Physics Teaching. Didactic Sequence.

Introdução

A ciência e a tecnologia, desde seus primórdios, têm exercido influência sobre a sociedade, e os resultados de seus avanços têm sido recebidos, em geral, com muita euforia. Na década de 1960, entretanto, o desenvolvimento científico e tecnológico passou a ser alvo de muitas críticas, ao ser associado às guerras e à degradação do meio ambiente, resultantes de ações como lançamentos de bombas atômicas na Segunda Guerra Mundial e o uso do desfolhante napalm¹ na guerra do Vietnã. Nesse período, ganharam visibilidade os estudos sobre as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), base do movimento denominado CTS (AULER, 2007), que, diante das tensões sociais do pós-guerra, fez críticas ao papel da ciência e da tecnologia na sociedade, confrontando suas “certezas” e a visão essencialista. Esse movimento recebeu reforço, em particular daqueles que testemunharam as preocupações do pós-guerra, notadamente devido ao poder devastador das armas atômicas como consequência do uso da ciência e da tecnologia (MITCHAM, 1990).

Na atual ordem social, em que a ciência e a tecnologia desempenham papéis intrínsecos em praticamente todas as atividades humanas, é essencial que os indivíduos as compreendam em seu uso no cotidiano. E, tendo em vista que é na Educação Básica que grande parte da população brasileira tem a única oportunidade de ter acesso à educação formal, é oportuno refletir sobre a importância que o conhecimento sobre a ciência e a tecnologia tem e terá cada dia mais sobre a vida dos indivíduos em sociedade.

A necessidade de promover o conhecimento sobre a ciência e a tecnologia na Educação Básica motivou este estudo, que teve origem em uma proposta apresentada pelo primeiro autor deste trabalho, visando discutir conceitos da Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica, durante sua participação no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), em 2015. Posteriormente, no período de agosto de 2016 a julho de 2018, quando este trabalho foi desenvolvido, o primeiro autor recebeu o apoio do Programa de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e, sob a orientação da segunda autora deste trabalho, aprofundou o estudo com discussão sobre a temática na Educação Básica, dando ênfase aos conceitos da ciência que, embora presentes no dia a dia dos indivíduos, em geral, não são contemplados no currículo programático das escolas. Durante essas experiências, o graduando teve a oportunidade de constatar que, nas duas escolas em que atuou durante o estudo, eram constantes as aulas de Física orientadas exclusivamente com base em livros, com ênfase em expressões matemáticas e contemplando fundamentalmente conteúdos da Física Clássica, mesmo quando o livro apresentava também a Física Contemporânea. Embora a literatura da área venha criticando esse tipo de ensino por décadas, por não promover reflexão, nem a construção do conhecimento, ele continua sendo adotado em grande parte das escolas públicas brasileiras (BRASIL, 2006; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; SANTOS; NASCIMENTO; SOUZA, 2016; SILVA; ARENGHI; LINO, 2013; TERRAZZAN, 1994).

Nas últimas décadas, várias propostas foram apresentadas como alternativa para o modelo de ensino tradicional. Entre elas destaca-se a educação com abordagem CTS, por

¹“O napalm é uma mistura de gasolina com uma resina espessa da palmeira que lhe deu o nome e que, em combustão, gera temperaturas a 1.000°C. Se adere à pele, queima músculos e funde os ossos, além de liberar monóxido de carbono, fazendo vítimas por asfixia” (PALLONE, 2002, s.p.).

discutir questões que envolvem diferentes setores da sociedade, possibilitando uma formação ampla sobre ciência e tecnologia, de modo que os educandos possam tornar-se aptos para tomar decisões em situações de debate sobre questões da ciência e da tecnologia (ABREU; FERNANDES; MARTINS, 2013; SANTOS; MORTIMER, 2000).

Na estrutura deste estudo, inicialmente são descritas situações históricas que mostram o uso de nanopartículas como matéria-prima para a confecção de produtos, além de fatos que marcaram o processo evolutivo do campo da nanociência e da nanotecnologia. Em seguida, faz-se uma abordagem sobre a nanociência e a nanotecnologia presentes no ensino de Física, retratando a Física Moderna e Contemporânea, enfatizando os pontos que implicam o uso ou desuso dessa temática por professores da Educação Básica. Na sequência, apresenta-se a metodologia utilizada na pesquisa e finaliza-se com os resultados da aplicação da sequência didática em salas de aula.

Um pouco de história

Na história sobre o campo de estudo nanociência e nanotecnologia, um nome frequentemente citado é do físico americano Richard Feynman (1918-1988)², em alusão a uma conferência proferida em 29 de dezembro de 1959, promovida pela Sociedade Americana de Física (FEYNMAN, 1992, 2002), em que apresentou ideias inéditas sobre possíveis aplicações tecnológicas na escala atômica. Por esse fato, muitas vezes ele é considerado um precursor deste campo de estudo, embora os termos “nanociência” e “nanotecnologia” só tenham surgido 15 anos depois da palestra de Feynman, em 1974, criados por Norio Taniguchi, da Universidade de Tóquio, para representar a criação de materiais em escala nanométrica (SIMÕES; TAKEDA, 2015; TOMA, 2004), o que remete à ideia do princípio (*archê*) de todas as coisas.

Essa problemática vem sendo discutida desde os povos jônios, com o pensamento dos filósofos naturalistas. Inicialmente, com Tales de Mileto, a água era tida como esse princípio. Mas, posteriormente, em decorrência do pensamento dos filósofos naturalistas, surgiu uma nova forma de pensar, a dos físicos pluralistas: com Empédocles, existia a ideia de que as “raízes de todas as coisas” estavam em quatro elementos – água, ar, terra e fogo. E, posteriormente, Anaxágoras já dizia que esses quatro elementos estavam muito longe de explicar todos os fenômenos existentes. Entre os pensadores pluralistas, destacam-se Leucipo e Demócrito, com herança da ideia das “sementes”, surgindo o pensamento da existência de algo que era indivisível – o átomo, que no grego significa não divisível (REALE; ANTISERI, 2017). A busca para descobrir e depois conhecer o átomo perdurou por séculos, marcadamente desde o século V a. C. até o começo do século XIX d. C., e, embora atualmente, mais do que em todos os séculos passados, se tenha conhecimento sobre partículas elementares que constituem a matéria, essa corrida para encontrar a partícula mais elementar ainda não terminou. No século XX, entre as ideias exploratórias iniciais sobre o estudo da matéria em nível atômico destaca-se a previsão do visionário Richard Feynman, ao afirmar que

os princípios da física, tanto quanto podemos perceber, não implicam na impossibilidade de manipular coisas átomo por átomo. Não se trata de uma tentativa de violar quaisquer leis; é algo que, em princípio, pode ser feito, mas, na prática, ainda não o foi, porque nós somos grandes demais (FEYNMAN, 2002, s.p.).

Ao longo dos anos, as ideias de Feynman foram objetos de estudo, as dificuldades de acesso à matéria na escala atômica foram sendo superadas e, pela primeira vez, em 1989, registrou-se a manipulação de átomos individualmente sobre uma superfície, por um

² Laureado com o prêmio Nobel de Física em 1965, este ano comemoram-se os 100 anos de seu nascimento.

instrumento denominado “microscópio de varredura por tunelamento” (*scanning tunnelling microscope*), inventado por pesquisadores da empresa IBM (JONES, 2008).

Entretanto, muito antes de ser formalizado o campo de estudo sobre a nanociência e a nanotecnologia, algumas propriedades da matéria em dimensão nanométrica já eram observadas em meio ao desenvolvimento da humanidade. É o caso da observação das propriedades em materiais como os vitrais das igrejas medievais, a exemplo daqueles da catedral de Notre Dame em Paris, e do cálice de Lycurgo³, ambos mostrando coloração e beleza incomuns para a época em que foram criados. Atualmente, entretanto, esses fenômenos são identificados como manifestações típicas da matéria em escala nanométrica, o que explica as mudanças de cores dos vitrais da catedral, fato intrigante e desconhecido na época, mas que se deve ao fato de os vitrais conterem matéria formada por nanopartículas de ouro, ou seja, partículas com o tamanho da ordem ou menor que 100 nm (nanômetros)⁴, que, por suas dimensões nanométricas (nanopartículas), refratam variados comprimentos de onda da luz. Esse fenômeno é explicado pela Lei de Bragg, que mostra a relação de proporcionalidade entre o comprimento de onda (λ) da luz incidente sobre as partículas e o diâmetro dessas partículas (d) sobre as quais a luz reflete. E assim essa relação pode ser expressa em linguagem matemática:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \theta,$$

em que n representa o número de comprimentos de onda e θ representa o ângulo de incidência da luz sobre o plano considerado. O entendimento dessa equação, envolvida no estudo da reflexão da luz, é parte do conteúdo programado específico do 2.º ano do Ensino Médio da Educação Básica, previsto na unidade de ótica geométrica das Diretrizes Curriculares do Estado do Maranhão (2014).

No ano 1974, quando o termo nanotecnologia emergiu, com a intenção de fazer distinção nos estudos da engenharia micromolecular, criando o campo da engenharia, em escala submicrométrica (MEDEIROS; PATERNO; MATTOSO, 2006), foi anunciado também o desenvolvimento de um diodo molecular pela empresa IBM (*International Business Machines*), e surgiu o primeiro objeto feito pela engenharia molecular, uma produção dos pesquisadores Ari Aviam e Mark Ratener (SCHULZ, 2013). Em 1981 os pesquisadores Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, da IBM na Suíça, desenvolveram o microscópio de tunelamento (STM - *Scanning Tunneling Microscopy*). Com esse fato, deu-se origem a uma família de instrumentos e técnicas que promoveram grandes avanços nas pesquisas em escala nanométrica (SIMÕES; TAKEDA, 2015). No mesmo ano, Eric Drexler, pesquisador do Instituto de Tecnologia de Massachusetts – MIT, publicou o primeiro artigo científico sobre nanotecnologia (DREXLER, 1981).

Mais alguns anos e a estrutura do carbono 60, o fulereno (C_{60}), foi descoberta por Robert Curl, Harold Kroto e Richard Smalley, além de outros (KROTO et al., 1985) no laboratório da Universidade de Rice, durante experimentos com laser, que vaporizava átomos de um material e possuía uma temperatura superior a dez mil graus Celsius. A técnica foi aplicada ao carbono que, recebendo um jato de gás hélio, gerou aglomerados do átomo, sendo observada uma molécula de C_{60} , com formato de um poliedro de 32 faces, que pode ser comparada à forma de uma bola de futebol e recebeu a denominação *buckminsterfulereno* (CURL; SMALLEY, 1991; ROCHA-FILHO, 1996).

³ Exposto no Museu Britânico em Londres, sua base é feita de vidro e possui uma propriedade única: descreve a morte do Rei Lycurgo. Informações do museu virtual de Nanociência e Nanotecnologia da PUC-RIO, disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20207/historia_antiguidade1.html.

⁴ Um nanômetro equivale a um bilionésimo do metro (1 nm = 1 m/1.000.000.000).

Ainda no ano de 1986, a técnica de Microscopia de Força Atômica (AFM – *Atomic Force Microscopy*) foi inventada pelos pesquisadores da IBM, Gerd Binnig e Henrich Rohrer (BINNIG; QUATE; GERBER, 1986; BINNIG; ROHRER, 1987). Essa técnica permitiu que, em 1989, Donald Eigler e Erhard Schweizer movessem 35 átomos de xenônio – um de cada vez – em uma superfície de níquel, para escrever o logo da empresa IBM (IBM, 1990), como revela a Figura 1.

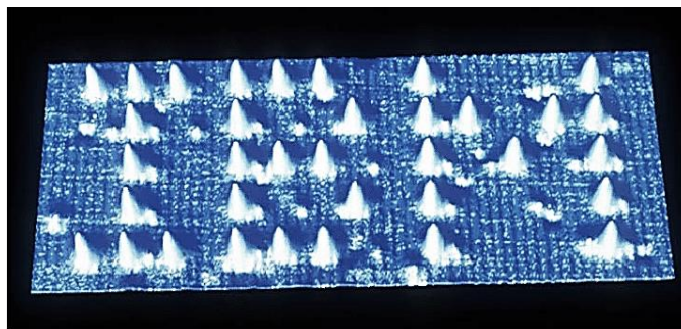


Figura 1 - Logotipo da IBM desenhado com átomos de xenônio

Fonte: Eigler e Schweizer (1990)

No ano seguinte, 1991, o japonês Sumio Iijima descobriu os nanotubos de carbono, materiais nanométricos, divulgados no artigo “Helical microtubules of graphitic carbono”, o qual retrata a estrutura desses materiais e faz comparações com o fulereno e o grafeno (IIJIMA, 1991). Segundo a *National Nanotechnology Initiative* (NNI), no ano 2000 uma pesquisa da Universidade de Rice desenvolveu um método de transformação de nanotubos de carbono em estruturas rígidas, e ainda nesse ano começaram a aparecer no mercado os produtos de consumo que utilizam a nanotecnologia, incluindo os para-choques de automóveis sem luz e de nanotecnologia, que resistem a arranhões; bolas de golfe que voam mais retas; raquetes de tênis mais rígidas; bastões de *baseball* com melhor flexão; protetores solares claros; roupas resistentes a rugas e manchas; cosméticos terapêuticos penetrantes; revestimentos de vidro resistentes a arranhões; baterias que carregam mais rápido; e *displays* melhorados para televisores (NANOTECHNOLOGY, 2017).

O grafeno, um material nanométrico com grande potencial de aplicação, embora já fosse conhecido, só foi obtido de forma isolada e caracterizado pela primeira vez em 2004, por Andre Geim e Konstantin Novoselov, usando o método de *peeling* de um pedaço de grafite. Foram isolados pedaços de multicamadas de grafeno com o auxílio de uma fita adesiva (NOVOSELOV et al., 2004). Dada a importância do feito, o desenvolvimento dessa pesquisa resultou na premiação do Nobel de Física a seus autores, em 2010. Em 2016, o grafeno foi transformado em um supercondutor em seu estado natural – o que significa que a corrente elétrica pode passar por ele com zero de resistência. Nesse mesmo ano, nanopartículas de grafeno foram introduzidas em polietilenoglicol via impregnação a vácuo, desenvolvendo materiais com alta condutividade térmica e excelente forma de estabilização, alta densidade de armazenamento de energia, excelente repetibilidade térmica e capacidade de armazenamento de energia luz ao calor (YANG et al., 2016). Xiaozhi Xu e Kaihui Liu, do Instituto de Ciências Básicas da Coreia do Sul, anunciaram, em 2017, a criação de folhas de grafeno em uma escala métrica, em tamanho equivalente a cinco centímetros de largura por cinquenta centímetros de comprimento (XU et al., 2017).

Paralelamente aos estudos dos materiais nanométricos direcionados às aplicações, há pesquisas que mostram preocupações com o desenvolvimento de produtos da nanociência e da nanotecnologia para uso pela população. Uma delas foi realizada pela NNI em sua primeira estratégia oficial sobre pesquisa ambiental de saúde e segurança (EHS), relacionada à

nanotecnologia e publicada em 2008, que teve por base um processo de dois anos de investigações e diálogos com a população. Esse documento de estratégia foi atualizado em 2011, seguindo uma série de *workshops* e revisão pública (NANOTECHNOLOGY, 2017). Porém, de modo geral, são poucos os estudos que buscam analisar os impactos e os riscos que os produtos da nanotecnologia podem causar no dia a dia dos indivíduos, quer pelos efeitos sociais, quer pelos ambientais. No Brasil, por exemplo, são quase desconhecidos estudos desta natureza, que se preocupam com os indivíduos, com os riscos a que estão submetidos pelo uso de produtos da nanotecnologia e/ou com o debate com a sociedade sobre a temática. Há raros estudos que procuram conhecer e divulgar possíveis riscos da produção da nanotecnologia, como a atuação do grupo de ação sobre erosão, tecnologia e concentração (GRUPO ETC, 2005) e, mais recentemente, um estudo que traça um entendimento de segurança sobre o uso de nanomateriais por agentes de desenvolvimento, como nos laboratórios com pesquisa acadêmica e na indústria (BERTI; PORTO, 2016).

O ensino de Física com ênfase em nanociência e nanotecnologia

A iniciativa de estudar materiais nanométricos no ensino de Física, como outras para estudar ciência na Educação Básica, pode apresentar certas dificuldades, considerando a inexistência de materiais com propriedades similares no mundo visível. Entretanto, observam-se, ao longo dos anos, diferentes iniciativas que fortaleceram a compreensão da ciência e da tecnologia para os não cientistas, em diferentes situações, como ao lançar mão de elementos da arte para explicar ideias científicas. Para compreender o “mundo” em dimensões nanométricas, por exemplo, observou-se que, ainda em 1966, em alusão às pesquisas em desenvolvimento na área e em perspectiva para a nanomedicina (termo desconhecido na ocasião), foi lançado o filme de ficção científica *Viagem fantástica*, baseado no livro de Isaac Asimov⁵ (1920-1992). Nele é retratado o uso de uma máquina, como um submarino, que foi encolhida em conjunto com um grupo de médicos, que pilotavam, pela corrente sanguínea, esse “nanorrobô” até o cérebro de um indivíduo, para a retirada de um coágulo (ROSSI-BERGMANN, 2008). A exemplo desse filme de ficção científica, há diferentes atividades para despertar a curiosidade dos estudantes sobre a ciência e facilitar a compreensão de conceitos da Física Contemporânea, quando discutidos em sala de aula, embora os nanorrobôs verdadeiros, máquinas moleculares, sejam muito diferentes de miniaturizações em escala nanométrica.

Propostas de estudos sobre o ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica têm sido crescentes a cada ano, como pode ser constatado na literatura (BATISTA; SIQUEIRA, 2017; DOMINGUINI, 2012; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; SANTANA; SANTOS, 2017), em variadas temáticas, como nanociência e nanotecnologia (GAMA, 2013) e conceitos de Mecânica Quântica (FREIRE; PESSOA; BROMBERG, 2011). Mesmo com as diferentes contribuições da literatura, a inserção da FMC no Ensino Médio (EM) tem se mostrado muito lenta. Para pesquisadores como Monteiro, Nardi e Bastos (2013), essa implantação é apresentada pelos professores como algo bom, mas há dificuldades para eles explicarem e/ou mostrarem para os alunos. Segundo esses autores, os professores entendem que a temática parece ser incompreensível para os alunos, por se tratar de algo que “aparentemente” nunca viram, não conseguem imaginá-la, e isso dificulta a assimilação para uma aprendizagem que tenha significado para esses alunos. Somando-se a essa problemática, os professores afirmaram que durante o planejamento das aulas não são propostos

⁵ Nascido na Rússia, foi um escritor estadunidense e bioquímico, considerado um dos mais importantes escritores de ficção científica do século XX, reconhecido por suas histórias de ficção científica. O título é também conhecido como Trilogia da Fundação, pertencente à série do Império Galáctico, e que logo combinou com outra grande série, Robots. Robôs eram o assunto favorito de Isaac Asimov.

conteúdos relacionados a Física Moderna e Contemporânea. Apesar das dificuldades apresentadas pelas escolas para adotar conteúdos de FMC, existe, por outro lado, a orientação do MEC para inserção desses conteúdos no Ensino Médio (BRASIL, 2006) e alguns livros didáticos já abordam conteúdos relacionados à FMC (DOMINGUINI, 2012), contribuindo para o professor fazer relações sobre teorias mais modernas, fazendo ligação, por exemplo, entre a mecânica newtoniana e a relatividade.

A nanociência e a nanotecnologia se tornam, a cada dia, mais populares e mais conhecidas – uma ciência e uma tecnologia que, desenvolvidas na escala de um bilionésimo do metro, possuem vasta diversidade de aplicações, com ramificações em distintas áreas do conhecimento. Nos últimos anos, a divulgação da temática vem crescendo cada vez mais, assim como as pesquisas neste campo de conhecimento, o que tem refletido em investimentos substanciais, com estimativa de crescimento maior a cada ano, como afirmam Ramos e Pasa (2008). Em uma sociedade permeada por inovações tecnológicas, desenvolver em sala de aula uma temática que vem causando impacto na população é uma forma de permitir que os cidadãos e os futuros profissionais se posicionem em situações que dizem respeito a sua própria vida.

O Ministério da Educação expressa, nas orientações curriculares do Ensino Médio, que temas relevantes e atuais merecem atenção, como a nanotecnologia, além de outros de forte relação com aspectos sociais, como as contribuições da Física nas questões ambientais (BRASIL, 2006). Apesar de já existirem temas previamente propostos pelos *Parâmetros Curriculares Nacionais*, é recomendado que os temas abordados em sala de aula sejam selecionados conforme o interesse da comunidade escolar. Terrazzan (1994) há muito tempo vem afirmando que a física ensinada deve possibilitar aos alunos pensar e interpretar assuntos que cercam o mundo vivenciado por eles.

No início da década passada, Toma (2004) lançou uma publicação com cunho de divulgação científica, *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. Ele retrata de maneira acessível conceitos e ideias sobre a nanociência e a nanotecnologia, mostra a presença de materiais nanométricos desde a Antiguidade aos dias atuais e perspectivas de aplicações futuras e apresenta a nanotecnologia como uma grande novidade, embora ela já venha sendo desenvolvida há décadas. A publicação é um indicativo de que, no Brasil, a popularização da temática – discussão entre os não cientistas – só começou nas últimas duas décadas, sendo ainda novidade para alunos do Ensino Médio, graduandos e muitos profissionais de diferentes áreas do conhecimento (FERNANDES; FILGUEIRAS, 2008).

Entretanto, há trabalhos desenvolvidos com a temática nanociência e nanotecnologia no Ensino Médio no País, tendo em vista proporcionar aos alunos o conhecimento autoconsciente, com o uso de abordagens em Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS), incluindo a Física Contemporânea, a Física que está em nossa volta, com aplicações crescentes à sociedade. Entre os trabalhos desenvolvidos para esse nível de ensino, encontram-se produções tanto em artigos como em livros, como mostra Gama (2013).

O uso da abordagem CTS na educação básica não tem o intuito de fazer divulgação científica, mas de possibilitar ao estudante entender os benefícios e os malefícios que qualquer produção da ciência e da tecnologia poderá gerar, afetando os indivíduos em sociedade. É uma forma de o aluno desenvolver uma visão crítica, diferente da que comumente se tem sobre a física, quando trabalhada de forma tradicional. A abordagem CTS promove uma perspectiva de o cidadão participar, em qualquer tempo, inclusive no futuro, de decisões sobre a ciência e a tecnologia que afetam sua vida, envolvendo-o com o estudo das ciências (ALVES; LIMA; BRITO, 2015).

O processo metodológico

Neste estudo foi elaborada uma sequência didática (SD) com a temática nanociência e nanotecnologia, pensada inicialmente em uma perspectiva CTS, como um tópico da Física Contemporânea, para ser desenvolvido na Educação Básica. Entretanto, essa abordagem não foi consolidada exatamente como planejada, como ficará explícito adiante.

A SD foi aplicada pelo primeiro autor deste trabalho, no período de março a junho de 2018, em 4 turmas do 2.º ano do Ensino Médio, em 10 aulas, cada uma com duração de 50 min, e com a participação de 116 alunos do Centro de Ensino Professor Barjonas Lobão, uma escola da rede pública estadual de ensino no município de São Luís, no Maranhão. A proposta de ensino, inicialmente, foi submetida à Secretaria Estadual de Educação e, após o consentimento, foi aplicada. Antes do início das atividades, cada aluno participante da pesquisa recebeu um termo de consentimento livre e esclarecido que foi assinado pelos responsáveis pela pesquisa e também por cada aluno(a) ou por seu responsável. No caso de aluno(a) menor de idade, além do termo assinado pelo seu responsável, o(a) aluno(a) também assinou um termo de assentimento livre e esclarecido.

A SD constituiu-se de atividades envolvendo conhecimento, desde a escala nanométrica e as noções básicas de materiais nanométricos à evolução do campo de estudo que abrange a nanociência e a nanotecnologia. Esta última, ao ser produzida, pode gerar implicações para sociedade, o que necessariamente exige dos indivíduos conhecimento para posicionar-se diante de questões da ciência e da tecnologia e atuar como cidadãos em sociedade. Na maioria das atividades os alunos receberam notas de aula, para acompanhar as discussões e orientá-los em estudos que poderiam ser realizados, posteriormente, fora da aula.

A pesquisa foi desenvolvida numa abordagem qualitativa, utilizando materiais da literatura disponíveis na plataforma da Scielo – fonte da maior parte das referências utilizadas –, no Google Acadêmico e nos periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Enquanto a organização dos tópicos, da estruturação à aplicação das atividades da SD, teve como base, principalmente, Zabala (2010) e Guimarães e Giordan (2012). Esses autores também foram referências para a análise do processo de aprendizagem e para a compreensão das relações entre professor e aluno em sala de aula.

Com base em Guimarães e Giordan (2012), a estruturação da proposta de ensino foi constituída por três fases: elaboração, aplicação e reelaboração (EAR). A “elaboração” é conduzida por uma base teórica que orienta a ação e as estratégias de ação do docente; a “aplicação” se dá na sala de aula e busca validar as atividades à medida que estão sendo desenvolvidas; e a “reelaboração” é o momento de confrontar os objetivos da proposta com os resultados obtidos com a aplicação, tendo em vista aprimorar a SD (GIORDAN; GUIMARÃES, 2012; GUIMARÃES; GIORDAN, 2013).

Firmada a organização de conteúdo, buscou-se fazer relações entre as disciplinas de Física, Química e Matemática, gerando vínculos reconhecidos por Zabala (2010) como globalização, uma proposta de organização de conteúdos que prescinde da compartimentação disciplinar. Neste estudo, a interação entre diferentes disciplinas foi necessária, para compreender os conteúdos de natureza interdisciplinar da temática e apreender as propriedades da matéria e dos fenômenos em estudo. O desenvolvimento dessa metodologia favorece o entendimento da ciência e da tecnologia, que são intrinsecamente multidisciplinares.

A proposta de ensino

Distribuídas em oito etapas, as atividades da SD buscaram construir saberes com os alunos para compreender a temática em estudo. Na primeira etapa, após a observação dos alunos

na sala de aula, foi elaborado e aplicado um questionário inicial sobre nanociência e nanotecnologia, almejando identificar seus conhecimentos prévios, que foram levados em consideração na aplicação da proposta. Na sequência, foi feita uma revisão sobre noções de dimensão com grandezas como volume, área, reta e ponto, para compreender a escala nanométrica a ser trabalhada em seguida. Como atividade de fixação desta etapa foi solicitado aos alunos que desenhassem um retângulo em uma folha de papel e depois o pintassem com o grafite da lapiseira até gastar toda sua parte externa, como mostrado na Figura 2. Feitas as medições dos lados do retângulo, para calcular o volume dos traçados deveriam considerar o volume igual a $V_t = c.l.e$, sendo c o comprimento total de traços, l a largura dos traços e e a espessura. Pela equação de volume do grafite (V_g) – que tem o formato de um cilindro – gasto nos traçados, pode-se afirmar que $V_g = \pi. \left(\frac{d}{2}\right)^2. h$, em que d representa o diâmetro do grafite e h a altura do grafite deixado para fora do corpo da lapiseira, antes de executar os traçados. E, considerando o volume do conjunto dos traçados (V_t) igual ao volume do grafite utilizado (V_g), obtém-se que $V_g = V_t \rightarrow \pi. \left(\frac{d}{2}\right)^2. h = c.l.e$; e, isolado e , encontra-se a espessura do conjunto dos traços – $e = \pi. \left(\frac{d}{2}\right)^2. \frac{h}{c.l}$.



Figura 2 - Desenho do retângulo usando grafite

Fonte: Arquivo Autores (2018)

Após algumas orientações e discussões sobre as equações volumétricas apresentadas, os alunos conseguiram finalizar a atividade, obtendo valores numéricos para a espessura dos traçados. Alguns estudantes revelaram dificuldades, seja pelo contexto matemático ou pela não compreensão das equações, e para dirimi-las foi importante a atenção dada a eles.

Na segunda e na terceira etapas, as atividades foram direcionadas ao conhecimento da escala nanométrica, com ênfase à interpretação de pontos distintos dessa escala. Para isso, a aula começou com uma interrogação provocadora: tamanho é documento? A ideia foi iniciar a temática, provocando uma reflexão nos alunos sobre os enormes efeitos que pequenas quantidades da matéria, invisíveis a olho nu, podem produzir, impactando a sociedade e o meio ambiente. Em seguida, foi feita uma revisão sobre notação científica a partir da leitura de uma história, criada exclusivamente para aula, sobre uma criança descobrindo a funcionalidade de objetos com diferentes tamanhos (dimensões de comprimento), o que exigia o uso de escalas de comprimento para comparação e compreensão das grandezas discutidas, até então desconhecidas da criança. A ideia central da história envolvia conversas de uma criança – com seus pais, sobre medições de objetos em seu entorno e com um médico, sobre as dimensões de um vírus e os efeitos dele sobre o corpo humano. Com a ideia de que há objetos de diferentes tamanhos, desde os enormes aos muito pequenos, observáveis ou não a olho nu, abriu-se espaço para indagar aos alunos sobre qual o maior e o menor objeto existente, do conhecimento deles. À medida que cada aluno se manifestava, percebia-se haver uma grande diferença entre as

dimensões do maior e do menor objeto que citavam, como o tamanho de uma galáxia e o de um átomo, citados pelos alunos.

Para adentrar na temática nanociência e nanotecnologia, foi explicado, a partir da escala métrica, o que é um “nano”, situando o nanômetro na escala métrica, fazendo relações entre grandezas de comprimento como unidade básica e o metro como unidade de referência. Um exemplo que ajudou a fazer essa relação foi a comparação do tamanho da Terra com uma bola de futebol, e essa última com uma bola de ‘carbono 60’, ilustrada na Figura 3.



Figura 3 - Uma relação de tamanho entre medidas do metro ao nanômetro.

Fonte: Park, Kim e Chang (1999 apud BARBOZA, 2008, p. 2)

A bola de futebol tem diâmetro equivalente a um bilionésimo de metro do diâmetro da Terra⁶, e a bola de ‘carbono 60’ tem diâmetro equivalente a um bilionésimo do diâmetro de uma bola de futebol, sendo que o diâmetro da bola de futebol é 22×10^{-2} m, enquanto o diâmetro da bola de carbono 60 é igual a 1×10^{-9} m (VILELA NETO, 2010). Outras comparações entre grandezas de comprimento foram feitas, como a exemplificação de elementos que se encontram em tamanhos de submúltiplos da escala do metro, incluindo o nanômetro, como mostram as ilustrações na Figura 4, com exemplos que facilitam a compreensão da grandeza de comprimento do metro ao nanômetro.

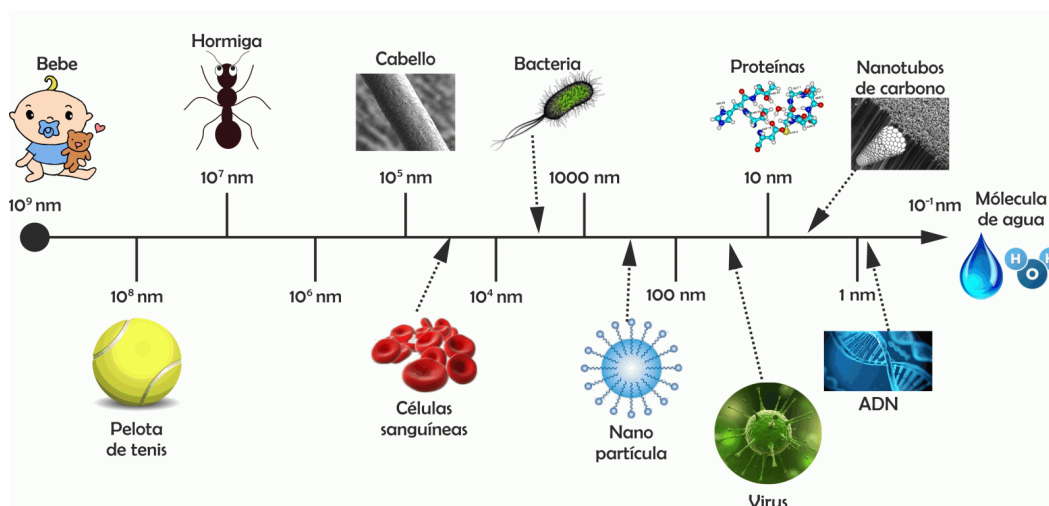


Figura 4 – Escala de comprimento, do nanômetro ao metro

Fonte: Passaretti, Castillo e Ciolino (2017, s.p.)

A quarta etapa ocupou-se da temática “nano, nanociência e nanotecnologia” e criou condições para o aluno entender a representação do nano, a partir da historicidade do

⁶ Um bilionésimo do metro é 10^{-9} de um metro ou 10^9 vezes menor que um metro.

surgimento de efeitos típicos da matéria em dimensões nanométricas, procurando fazer conhecidas as relações entre nanotecnologia e nanociência. A esse respeito, foram discutidos a famosa palestra de Richard Feynman, os fenômenos observados no cálice de Lycurgo, do acervo do Museu Britânico, mostrado na Figura 5 (a) e nos vitrais de igrejas medievais, como a ilustrada na Figura 5 (b).



Figura 5 – (a) Cálice de Lycurgo, (b) Vitral multicolorido da Catedral de Notre Dame.

Fonte: (a) Drinking-cup (2017?), (b) Poletto (2009).

A quinta etapa, a partir de uma exposição inicial, em sala de aula, de produtos nanotecnológicos disponíveis no mercado, destacou propriedades das nanoestruturas do carbono como diferencial desses produtos e discutiu os avanços da nanociência e da nanotecnologia nos últimos anos. Foi ressaltado que a nanotecnologia está se fazendo onipresente na vida dos indivíduos e se encontra em produtos comerciais que manifestam propriedades particulares, como: materiais mais fortes e leves, que ajudam na economia de combustíveis; drogas direcionadas ao tratamento mais seguro e eficaz de câncer (CHAVES, 2017); computadores super-rápidos com quantidades de armazenamento cada vez maiores em espaços menores; superfícies autolimpantes; painéis solares mais eficientes; alimentos mais seguros, com embalagens e monitoramento adequados; janelas inteligentes que iluminam ou escurecem para economizar energia; e concreto habilitado por nanotecnologia, que seca mais rapidamente e possui sensores para detectar estresse ou corrosão em nanoescala em estradas, pontes e edifícios (PARAMÉS; BRITO, 2010). Há muitos outros produtos que prometem ser desenvolvidos pela nanotecnologia, exemplificados nas produções em andamento, veiculadas em notícias como “Nanosensores medem a poluição do ar com maior eficiência” (NANOSSENSORES, 2016) e “Novo tecido: quase nu” (VIEIRA, 2016).

Em meio à produção e ao uso da nanotecnologia, há também preocupação, considerando que processos para regulamentação da nanociência e da nanotecnologia são desconhecidos ou praticamente existentes. No Brasil, os produtos vão para o mercado sem nenhuma garantia para os consumidores de que eles são seguros para uso, e não há ou são desconhecidos protocolos como têm sido realizados pela *National Nanotechnology Initiative* (NANOTECHNOLOGY, 2, 2017) para análise de possíveis efeitos nocivos para a população. Os produtos circulam no País como se não existissem conflitos de interesses entre quem produz e quem os usa, como se esses produtos fossem isentos de riscos de dano para a população, embora não existam estudos neste sentido. O mais agravante é que não há preocupação da esfera pública com os possíveis danos que a população poderá sofrer com esses produtos. Ela precisa ser esclarecida de que, em

qualquer desenvolvimento da ciência e da tecnologia, sempre existe a possibilidade de danos para sociedade, e não somente ganhos. E quais os possíveis danos para a população, ao ser submetida aos produtos das pesquisas em nanociência e nanotecnologia? Faz-se necessário refletir um pouco sobre essa problemática, principalmente em se tratando de nanotecnologia.

Na sexta etapa, foram explorados estudos de tendências futuras sobre nanociência e nanotecnologia, envolvendo aplicações eletrônicas, computação quântica, bionanotecnologia e investimentos em novas pesquisa e produtos. Foi feito um recorte sobre as propriedades eletrônicas do carbono e as promessas que o grafeno traz para uma nova geração – como as telas flexíveis para dispositivos eletrônicos que, por meio de nanopolímeros, conseguem dobrar as telas, e os *chips* de computadores que a cada dia estão menores e com maior capacidade de armazenamento.

Na sétima etapa, foi gerenciada uma discussão para tratar de impactos da nanotecnologia, identificando possíveis efeitos na saúde, no meio ambiente e no meio social, com o sentido de desenvolver o senso crítico dos educandos, ao se tratar da ciência e da tecnologia. Procurou-se enfatizar que neste campo de estudo, em particular, talvez mais do que em qualquer outro da ciência e da tecnologia, controles de riscos são mais difíceis de estabelecer, devido às dificuldades de caracterização de perigo e à quase inexistência de pesquisas fundamentais sobre riscos específicos para nanomateriais. Segundo Berti e Porto (2016, p. 153), “mesmo sem uma validação quantitativa, muito pode ser aprendido sobre potencial de risco, a fim de o gerenciamento responsável da nanotecnologia disponha de informações que lhe permitam avançar com segurança”. Impactos sociais e ambientais das nanotecnologias foram discutidos, mostrando, por um lado, vantagens – com a ideia de criar “nanorobôs” para levar medicamento diretamente nas células doentes do corpo –, mas, por outro, desvantagens em seu uso, por apresentar-se como poluentes e substâncias tóxicas que são usadas em plantações. Um outro ponto desenvolvido foi a preocupação que se deve ter com minerais, como as partículas no ar, que prejudicam a saúde humana. Na sala de aula, foi abordada também a problemática sobre partículas nanométricas, especificamente o amianto, que é um material bastante comum em residências, embora tenha propriedades toxicológicas agudas desconhecidas pela grande maioria da população, que o consome com muita frequência.

Na oitava e última etapa, foi aplicada uma atividade avaliativa para mensurar a compreensão dos alunos sobre o conteúdo de nanociência e nanotecnologia. Os resultados encontrados nessa etapa estão apresentados a seguir.

Resultados da avaliação

No questionário inicial, para sondagem dos conhecimentos prévios, que teve a participação de 116 estudantes, perguntamos: “Você já ouviu falar sobre nanociência e/ou nanotecnologia?”. Apenas 19% dos alunos responderam “sim”. Entre os que afirmaram já ter ouvido sobre a temática, foram apontados como fonte de conhecimento: jogos, filmes, notícias e internet. A distribuição das fontes citadas pelos estudantes, em termos percentuais, é mostrada no gráfico da Figura 6.

A maioria dos participantes respondeu ter ouvido sobre nanociência em filmes (62%). Alguns mencionaram filmes de super-heróis, como *O homem de ferro*, destacando o material nanotecnológico, base da roupa do personagem principal. As imagens dos filmes de ficção formalizadas pelos alunos, como as dos nanorrobôs presentes na armadura dos super-heróis, facilitaram a explicação sobre a existência de máquinas moleculares, os chamados nanorrobôs,

que estão sendo desenvolvidos na vida real com técnica de automontagem de estruturas de DNA, capazes de se locomover para entregar medicamentos em determinadas células (BERTI; PORTO, 2016). O número de respostas positivas diminuiu quando foi perguntado sobre o conhecimento que tinham sobre algum produto da nanotecnologia. Apenas 1% citou um exemplo real, por terem visto na internet. As respostas ao questionário de conhecimentos prévios foram usadas para planejar melhor as atividades seguintes e facilitar a aprendizagem dos alunos.

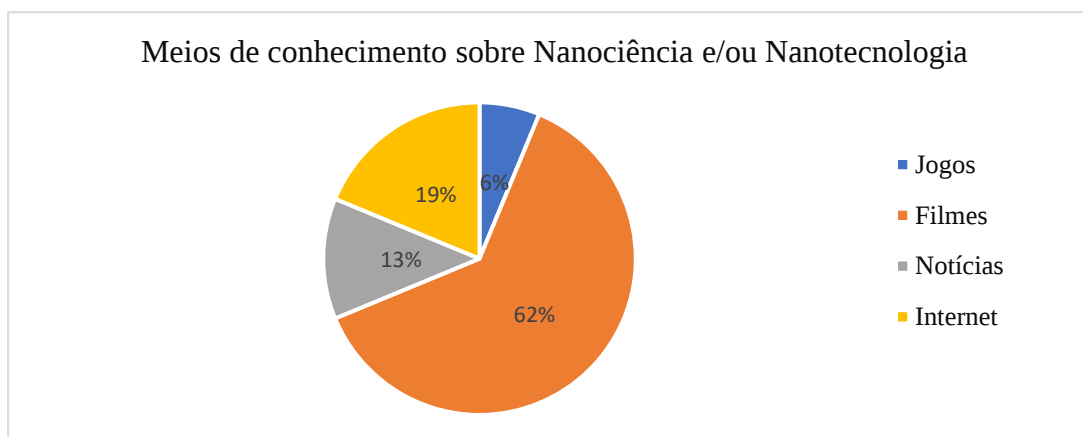


Figura 6 - Respostas à pergunta: “você já ouviu falar sobre nanociência e/ou nanotecnologia?”

Fonte: Elaborada pelos autores (2018)

Possíveis dificuldades para a aplicação da Sequência Didática

Durante a aplicação das atividades foram feitas observações que merecem ser ressaltadas, porque podem ser úteis para o aperfeiçoamento do que foi realizado.

Nas atividades em sala de aula, foi necessário um cuidado especial com os conhecimentos prévios dos alunos, principalmente, tratando-se de conteúdo interdisciplinar e/ou conteúdo extracurricular. No estudo com alunos do 2.º ano do Ensino Médio, espera-se que eles já tenham conhecimento sobre notação científica, mas não se pode considerar que todos conheçam essa notação. Na segunda etapa das atividades, durante uma revisão sobre a notação de números decimais, constatou-se que grande parte dos alunos não tinham noções mínimas sobre a notação científica desses números.

Na quarta atividade, durante a discussão sobre o cálice de Lycurgo, outra dificuldade evidenciou-se, ao situar o fenômeno observado em seu aspecto histórico, vinculado a uma lei da Física: uma discussão multidisciplinar foi necessária para entender a formação de cores produzidas pelo cálice e as alterações nessas cores, ao entrar em contato com a luz – uma explicação, embora sucinta, sobre a reflexão da luz, de acordo com a Lei de Bragg. Embora essa Lei faça parte dos conteúdos programáticos do 2.º ano do Ensino Médio, ela ainda não tinha sido objeto de estudo nas turmas participantes da pesquisa. Essa experiência leva-nos a acreditar que, se a atividade tivesse sido desenvolvida em uma turma de 3.º ano, as dificuldades teriam sido menores.

Avaliação da aprendizagem dos alunos

Procurando avaliar o entendimento dos participantes e a aprendizagem quanto à temática, aplicou-se um questionário para levar os alunos a fazerem reflexões sobre o uso de produtos da nanotecnologia. As oito perguntas que constituíram o questionário são:

(1) Em qual escala a nanociência e a nanotecnologia é compreendida? Dê um exemplo de algo que esteja nessa escala; (2) Como você explica o significado de um “nano” para uma pessoa que nunca ouvir falar nesse termo? (3) Comente sobre algum/alguns produto/os nanotecnológico/os que teve/tiveram uma importância diferenciada para você; (4) Diga quais são as características de um nanotubo de carbono; (5) O que você diria para um amigo, se ele lhe perguntasse o que você entende sobre nanociência e nanotecnologia? (6) Transforme as medidas para nanoescala usando a notação científica: 6,8 μm , 1,2 m, 2,3 cm e 1000 nm; (7) André comprou uma carga com 32×10^7 microchips, mas durante o transporte foram danificados 61×10^3 microchips. Com quantos microchips André ficou? (8) Comente como você vê a nanociência e a nanotecnologia influenciar o desenvolvimento da sociedade.

O gráfico da Figura 7 mostra o número do que foi considerado “acertos” e “erros” nas respostas dos alunos para as 8 questões propostas na avaliação final. O eixo horizontal mostra, em escala percentual, os “acertos” e os “erros” dos 116 alunos, para as 8 questões da avaliação. As respostas correspondentes aos “acertos” e “erros” de cada aluno estão distribuídas ao longo das linhas horizontais, no qual cada uma das oito perguntas está representada em um dos traçados da vertical. Para cada questão (da primeira à oitava), o conjunto de respostas consideradas totalmente corretas é indicado pelo termo Tcorretas, o conjunto das respostas parcialmente corretas é representado pelo termo Pcorretas e o conjunto das respostas totalmente incorretas expresso pelo termo Incorretas.

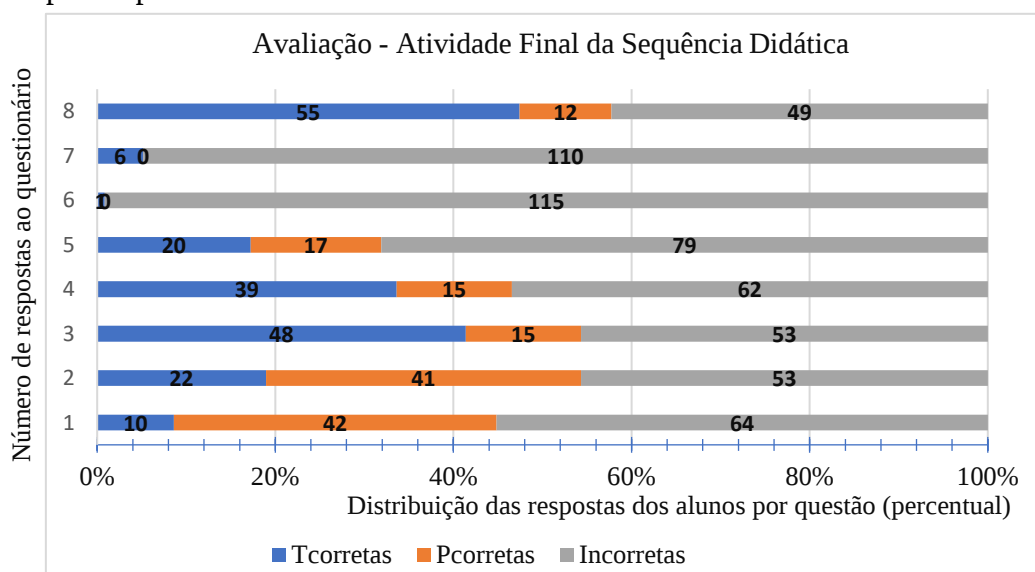


Figura 7 – Número de alunos com respostas “totalmente corretas” (Tcorretas), “parcialmente corretas” (Pcorretas) e “incorretas” (Incorretas), do total de 116 alunos participantes.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018)

Destacaram-se as respostas dos alunos para quatro questões, (1), (3), (6) e (8), do questionário final: (1) “Em qual escala a nanociência e a nanotecnologia são compreendidas? Dê um exemplo de algo que esteja nessa escala”. Na Figura 7 é possível observar que cerca de 9% dos alunos responderam de forma clara, enquanto 36% das respostas indicam que o assunto não fora completamente compreendido e 55% dos alunos não mostraram ter obtido conhecimento sobre o assunto. Na questão (3), “Comente sobre algum/alguns produto(s) nanotecnológico(s) que teve(tiveram) importância diferenciada para você”, é possível observar, pela Figura 7, que 42% das respostas estão corretas e 12% dos alunos mostraram que o assunto não foi completamente compreendido. O maior número de acertos para essa questão pode estar relacionado ao fato de a questão tratar de produtos inovadores disponibilizados no mercado,

despertando maior interesse, e, conseqüentemente, refletindo no maior número de acertos. Na questão (6), “Transforme as medidas para nanoescala usando a notação científica: 6,8 μ m, 1,2 m, 2,3 cm e 1000 nm”, a resposta requeria fundamentalmente cálculo, e ela foi acertada completamente somente por um aluno, o que revela a grande dificuldade dos estudantes quando se trata de noções básicas de matemática. Nas respostas para a questão (8), “Comente como você vê a nanociência e a nanotecnologia influenciar no desenvolvimento da sociedade”, observam-se 50% de acertos, e foi a questão com maior número de acertos. A maioria dos estudantes fez comentários associados aos benefícios da nanotecnologia, fato que corrobora os resultados das respostas para a questão (3). As respostas para a questão (8) foram agrupadas em três categorias e, posteriormente, foi escolhida uma das respostas em cada grupo, para representá-las. São elas:

Bom, se for aplicada de maneira correta vai fazer um excelente desenvolvimento, porém, creio que seja algo que vai levar tempo.

Influencia muito na sociedade, apesar de que as pessoas não dão muita importância e não têm muitos conhecimentos sobre o nano.

De uma forma grandiosa a nanociência e a nanotecnologia vêm revolucionando o mercado com produtos cada vez mais sofisticado [sic], daqui em diante a nanotecnologia vai revolucionar e trazer a todos nós aparelhos melhores e sofisticados.

As características comuns a cada grupo de respostas podem representar os estudantes: (i) que não acreditam que produtos da nanotecnologia já estejam no mercado; (ii) que acreditam nos impactos, mas entendem que, de um modo geral, as pessoas não estão muito interessadas em saber sobre a origem desses impactos, e são cientes do pouco número de pessoas com algum conhecimento sobre as nanotecnologias; (iii) que entendem as nanotecnologias como algo “grandioso”, por isso, vão resolver grandes problemas da sociedade, trazendo qualidade de vida para as pessoas.

Um fator que certamente influenciou o tipo de respostas dos alunos foi a ausência de uma discussão mais aprofundada, com maior envolvimento deles, sobre possíveis desvantagens do uso das nanotecnologias, como as dificuldades para o controle dos produtos comercializados, de forma a assegurar que os produtos no mercado estejam livres de problemas como a toxicidade.

Uma problemática que teve uma certa discussão, ao longo das atividades, envolveu a fibra de amianto, material ainda comum em muitas residências brasileiras, usado em grande quantidade em telhas e caixas de água, mas também em muitos outros produtos, como tecidos, filtros e isolantes térmicos. O amianto, pelo seu alto grau de toxicidade, tem o uso, a extração e a comercialização proibidos em mais de 60 países e está incluído na lista, organizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pela Organização Internacional do Trabalho (OIT), de substâncias responsáveis por doenças cancerígenas (SILVA; BARCA, 2016). Outros produtos que também podem produzir risco à saúde são os “nanotubos de carbono (NNTs), cuja toxicidade é conhecida e comprovada” (BERTI; PORTO, 2016, p. 71), exigindo que os nanotubos sejam devidamente encapsulados para serem manipulados. Para esses autores, essas informações não são facilmente encontradas, porque elas são tratadas como informações comerciais confidenciais. Esse tipo de sigilo só contribui para a população manter-se desinformada e sujeita aos riscos desses produtos, especialmente, por ausência de informações e fiscalização do setor público quanto aos possíveis riscos a que a população se submete ao usá-los.

Considerações finais

Essa proposta de ensino, aplicada com base na temática nanociência e nanotecnologia teve a intenção de incluir questões da Física Contemporânea, envolvendo noções da abordagem CTS, com discussão sobre questões da ciência e da tecnologia, considerando princípios éticos e sociais. Entretanto, durante o desenvolvimento das atividades, a administração da escola reduziu o tempo dos alunos em sala de aula, e o desconhecimento prévio sobre essa decisão levou à suspensão de duas aulas destinadas à discussão e ao debate sobre possíveis riscos do uso de produtos da nanotecnologia, momento em que se discorreria sobre preocupações com aplicações da Ciência e da Tecnologia, especificamente relacionadas às pesquisas em escala nanométrica.

A análise do trabalho revelou que provavelmente o estudo teria alcançado maior significado para os alunos, se no decorrer das aulas tivessem sido trabalhados conteúdos e discutidos, paralelamente, vantagens e possíveis desvantagens do uso de produtos da nanotecnologia. Tais discussões poderiam ter ocupado mais tempo, para maior efeito na formação de cidadãos críticos sobre o que estão consumindo, a fim de preservar a vida e saber exigir dos governantes transparência sobre possíveis riscos oferecidos pelos produtos disponíveis no mercado.

A formação na Educação Básica precisa contribuir para a compreensão de noções fundamentais e embasamentos que capacitem os alunos para analisar criticamente o desenvolvimento científico e tecnológico. O Ensino Médio formará futuros profissionais que precisam da aprendizagem de noções básicas nesse nível de formação, visando a tomadas de decisão em qualquer situação futura, seja para os que irão fazer novos estudos, seja para os que se limitarão à escola formal do Ensino Médio. Conhecer áreas específicas do conhecimento, como a aqui abordada, pode auxiliar o aluno na tomada de decisão em vários momentos da vida cotidiana, qualquer que seja a escolha profissional, porque oferece uma visão ambientalista, preocupada com o desenvolvimento da tecnologia no País e no mundo.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) e à Universidade Federal do Maranhão (UFMA), pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa (Bolsa de Iniciação Científica - ago./2016 a jul./2018).

Referências

ABREU, T. B.; FERNANDES, J. P.; MARTINS, I. Levantamento sobre a produção CTS no Brasil no período de 1980-2008 no campo de ensino de Ciências. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 3-32, 2013.

ALVES, J. V.; LIMA, M. C. A.; BRITO, E. S. Nanotecnologia no ensino médio : um olhar diferenciado para ver o mundo. In: ENCONTRO DE FÍSICOS DO NORTE E NORDESTE, 33., Natal. **Anais**. Natal, 2015. Disponível em: <http://www1.sbfisica.org.br/eventos/efnne/xxxiii_e/programa/authors.asp?c=a>. Acesso em: 02 jun. 2018.

AULER, D. Enfoque ciência-tecnologia-sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência & Ensino**, Campinas, v. 1, número especial, s.p., nov. 2007.

BARBOZA, A. P. M. **Estudo da injeção de carga em nanotubos de carbono por microscopia de força elétrica**. 2008, 76 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BATISTA, C. A. S.; SIQUEIRA, M. A inserção da física moderna e contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 880-902, dez. 2017.

BERTI, L. A.; PORTO, L. M. **Nanosessegurança**: guia de boas práticas em nanotecnologia para a fabricação e laboratórios. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

BINNIG, G.; QUATE, C. F.; GERBER, C. Atomic force microscope. **Physical Review Letters**, New York, v. 56, n. 9, p. 930, 1986. Disponível em: <journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.56.930>. Acesso em: 28 mar. 2018.

BINNIG, G.; ROHRER, H. Scanning tunneling microscopy – from birth to adolescence. **Reviews of Modern Physics**, New York, v. 59, n. 3, p. 615, 1987. Disponível em: <link.aps.org/doi/10.1103/RevModPhys.59.615>. Acesso em: 28 mar. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias** – BIOLOGIA 2006. (Orientações curriculares para o ensino médio, v. 2). Disponível em: <portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 24 maio 2017.

CHAVES, N. L. **Estudo da interação entre nanopartículas de maghemita associadas ao citrato de ródio e células de câncer de mama**. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/25321>. Acesso em: 23 jan. 2018.

CURL, R. F.; SMALLEY, R. E. F. **Scientific American**, New York, v. 265, n. 4, p. 54-63, 1991. Disponível em: <jstor.org/stable/24938758>. Acesso em: 28 mar. 2018.

DOMINGUINI, L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 1-7, 2012.

DREXLER, K. E. Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. In: **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 78, n. 9, p. 5275-5278, 1981. Disponível em: <pnas.org/content/78/9/5275.short>. Acesso em: 22 mar. 2018.

DRINKING-CUP. The Lycurgus Cup. Drinking-cup; glass; green and red; covered with various scenes representing the death of King Lycurgus; rim mounted with silver-gilt band of leaf ornament, plus silver-gilt foot with open-work vine leaves. The British Museum. London: The British Museum [2017?]. 1 cálice. Disponível em: <https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_1958-1202-1>. Acesso em: 5 jun. 2017.

EIGLER, D.; SCHWEIZER, E. Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. **Nature**, Londres, v. 344, p. 524-526, 1990. DOI: https://doi.org/10.1038/344524a0.

FERNANDES, M. F. M.; FILGUEIRAS, C. A. L. Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios). **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2205-2213, 2008.

FEYNMAN, R. P. There's plenty of room at the bottom. J. **Microelectromechanical Systems**, v. 1, n. 1, p. 60-66, 1992.

FEYNMAN, R. P. **Revista Com Ciência**, Campinas, n. 37, 2002. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/framereport.htm>. Acesso em: 03 fev. 2018.

FREIRE, O. J.; PESSOA JR, O.; BROMBERG, J. L. **Teoria quântica**: estudos históricos e implicações culturais. São Paulo: EDUEPB, 2011.

GAMA, C. F. **Uma proposta para o ensino de nanociência e da nanotecnologia, nas aulas de física do ensino médio**. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-25112014-152017/publico/Catia_Fernandes_Gomes.pdf. Acesso: 15 mai. 2014.

GRUPO ETC. **Nanotecnologia**: os riscos da tecnologia do futuro: saiba mais sobre produtos invisíveis que já estão no nosso dia-a-dia e o seu impacto na alimentação e na agricultura. Porto Alegre: L&PM, 2005.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8., 2012, Campinas. **Atas...** Campinas. Disponível em: http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viiienpec/resumos/R0875-2.pdf. Acesso em: 10 jun. 2017.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. Elementos para validade de sequências didáticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia-SP. **Atas do ENPEC**. Águas de Lindóia: [2014?]. Disponível em: http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/ixenpec/atas/resumos/R1076-1.pdf >. Acesso em: 10 jun. 2017.

IBM. **IBM Archives**: valuable resources on IBM's history. Arquivo referente a 1990. Disponível em: ibm.com/ibm/history/history/year_1990.html. Acesso em: 23 abr. 2018.

IJJIMA, S. Helical microtubules of graphitic carbon. **Nature**, Londres, v. 354, n. 6348, p. 56, 1991. Disponível em: nature.com/articles/354056a0.pdf. Acesso em: 22 abr. 2018.

JONES, R. A. L. **Soft condensed matter**: nanotechnology and life. Oxford University Press Inc.: New York, 2008.

KROTO, H. W. et al. C60: Buckminsterfullerene. **Nature**, Londres, v. 318, n. 6042, p. 162-163, 1985. Disponível em: www.nature.com/articles/318162a0. Acesso em: 20 jan. 2018.

MARANHÃO. SEDUC. **Diretrizes curriculares**. 3. ed. São Luís, 2014. p. 63-64. Disponível em: educacao.ma.gov.br/files/2015/11/Seduc-Ma-Diretrizes-Curriculares-A4-3%C2%AA-Edicao-09092014-1.pdf. Acesso em: 15 nov. 2017.

MEDEIROS, E. S.; PATERNO, Leonardo G.; MATTOSO, L. H. C. Nanotecnologia. In: DURAN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. (Org.). **Nanotecnologia**: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. São Paulo: Artliber, 2006.

MITCHAM, C. En busca de una nueva relación entre Ciencia, Tecnología y Sociedad. In: MEDINA, M.; SANMARTÍN, J. (Org.). **Ciencia, Tecnología y Sociedad**: Estudios

interdisciplinares en la universidad, la educación y en la gestión pública. Barcelona: Anthropos, 1990.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS, J. B. F. Física moderna e contemporânea no Ensino Médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatória. **REIEC**, Buenos Aires, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2013.

NANOSSENSORES medem a poluição do ar com maior eficiência. **Ciência & Mulher** – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, São Paulo, 16 jun. 2016. Disponível em: <<http://www.cienciaemulher.org.br/nanossensores-medem-a-poluicao-do-ar-com-maior-eficiencia/>>. Acesso em: 6 mar. 2018.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. **Nanotechnology timeline**. Disponível em: <nano.gov/timeline>. Acesso em: 20 abr. 2017.

NOVOSELOV, K. S. et al. Electric field effect in atomically thin carbon films. **Science**, Washington - DC, v. 306, p. 666-669, 2004. DOI: 10.1126/science.1102896

OLIVEIRA, F. F. ; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

PALLONE, S. Armas químicas e biológicas são antiga estratégia. **Com Ciência**, Campinas, jun. 2002. Disponível em: <<https://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/guerra/guerra03.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

PARAMÉS, J.; BRITO, J. Materiais de construção nanotecnológicos de auto-limpeza. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Porto Velho, n. 15, p. 55-62, abr. 2010. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art6_N15.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2018.

PASSARETTI, M. G.; CASTILLO, L. A.; CIOLINO, A. E. Una mirada al universo nanotecnológico (parte 1). **Revista Com Ciência**, Campinas, fev. 2017. Disponível em: <<https://revistaconciencia.com/ver-articulo/fisica/una-mirada-al-universo-nanotecnologico--parte-1-/>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

POLETTI, F. Os primeiros “nanotecnólogos” eram artistas. In: Bala Mágica. **Blogs de Ciência**. Campinas, 28 jul. 2009. Disponível em: <<https://www.blogs.unicamp.br/balamagica/2009/07/28/os-primeiros-nanotecnologos-eram-artistas/>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

RAMOS, B. G. Z.; PASA, T. B. C. Desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos. **Revista Brasileira de Farmácia**, Rio de Janeiro, v. 89, n. 2, p. 95-101, 2008.

REALE, G; ANTISERI, D. **Filosofia**: Antiguidade e Idade média. Tradução José Bortolini. São Paulo: Paulus, 2017. v. I. (Coleção Filosofia).

ROCHA-FILHO, R. C. Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 4, p. 7-11, 1996.

ROSSI-BERGMANN, B. A nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 60, n. 2, p. 54-57, 2008.

SANTANA, F. B.; SANTOS, P. J. S. Espectroscopia e modelos atômicos: uma proposta para a discussão de conceitos de Física Moderna no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 2, p. 555-589, ago. 2017.

SANTOS, A. C.; NASCIMENTO S. D.; SOUZA, D. N. Ensino de Física Moderna: perspectivas e desafios sob o olhar de alguns professores de Física do Ensino Médio. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 12, n. 11, p. 1-7, 2016.

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 Ciência**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 110-132, dez. 2000.

SCHULZ, P. Nanotecnologia: uma história um pouco diferente. São Paulo: **Ciência de Hoje**, Rio de Janeiro, v. 52, p. 26-29, 2013.

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba, v. 6, n. 1, jan./abr. 2013.

SILVA, L. H. P.; BARCA, S. Trabalho, saúde e ambiente na mineração de amianto no Brasil. In: GUIMARÃES, P. E.; CEBADA, J. D. P. (ed.). **Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica: o passado e o presente**. Portugal: Universidade de Évora, Brasil: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Rio de Janeiro, 2016.

SIMÕES, F. R.; TAKEDA, H. H. Conceitos e princípios básicos. In: DA RÓZ, A. L.; FERREIRA, M.; OLIVEIRA JR, O. N. (Org.) **Nanoestruturas: Princípios e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

TERRAZZAN, E. A. **Perspectivas para inserção da Física Moderna na escola média**. 1994. 241 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

TOMA, H. E. **O mundo nanométrico: a dimensão do século**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

VIEIRA, C. L. Novo tecido: quase nu. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, 17 nov. 2016. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/novo-tecido-quase-nu/>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

VILELA NETO, O. P. **Projeto, otimização, simulação e predição de propriedades de nanoestruturas através de técnicas da inteligência computacional: nanotecnologia computacional inteligente**. 2010. 166 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=15182@1>>. Acesso em: 22 out. 2017.

XU, X. et al. Ultrafast epitaxial growth of metre-sized single-crystal graphene on industrial Cu foil. **Science Bulletin**, Beijing, v. 62, n. 15, p. 1074-1080, 2017. Disponível em: <doi.org/10.1016/j.scib.2017.07.005>. Acesso em: 05 mai. 2018.

YANG, J. et al. Hybrid graphene aerogels/phase change material composites: Thermal conductivity, shape-stabilization and light-to-thermal energy storage. **Carbon**, Amsterdam, v. 100, p. 693-702, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.01.063>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. 1. ed. reimp. Porto Alegre: Artmed, 2010.