

## Ensino de Nanociência e Educação CTS: um olhar sobre a prática docente

### Teaching Nanoscience and CTS Education: a look at teaching practice

### Enseñanza de Nanociencia y Educación CTS: una mirada a la práctica docente

**Lucinéia Ferreira Ceridório**

Universidade Federal de São Paulo  
lceridorio@unifesp.br  
<https://orcid.org/0000-0001-7211-4371>

**Camila de Lima Bezerra Nonato**

Universidade Federal de São Paulo  
c.nonato@unifesp.br  
<https://orcid.org/0009-0008-4022-2640>

#### Resumo

Os avanços decorrentes na área da Nanociência e Nanotecnologia vêm impactando a sociedade, de forma que se torna essencial o acesso e compreensão da população dos conhecimentos desta área. Para este propósito, as escolas precisam estar abertas para essa temática, com inserção em programas curriculares, recursos didáticos e nas aulas. Deste modo, os professores necessitam estabelecer em suas práticas os valores científicos e tecnológicos dessas áreas junto com debates das implicações sociais e ambientais. Neste contexto, este estudo exploratório teve como objetivo apresentar conhecimentos sobre a prática de docentes da educação básica em ensino de nanociência e nanotecnologia. A pesquisa de natureza qualitativa consistiu da observação, gravação, transcrição e análise de aulas de dois professores da educação básica. A análise apoiada em ZABALA 1998 e na perspectiva CTSA considerou as ações, discursos e recursos (materiais e textos/esquemas escritos) utilizados pelos professores durante as aulas. Os resultados apontam que os assuntos tratados tiveram grande potencial para discussões da atualidade em seus aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos, apesar da preocupação dos professores no ensino dos conteúdos curriculares. Os professores demonstraram competência para integrar a temática com a abordagem CTSA, articulando o conteúdo curricular da Química, Física e Biologia com questões atuais, como vacinas da Covid-19 e materiais nanoestruturados e empregaram recursos didáticos tradicionais - lousa, vídeos em práticas experimentais - para despertar o interesse e a participação dos estudantes. Não houve diferenças significativas na viabilidade e aprofundamento das atividades entre o ensino fundamental e médio. Concluímos que há possibilidade do ensino da nanociência e nanotecnologia ultrapassar a mera apresentação de conteúdos programáticos da disciplina e contextualizar outros aspectos de natureza humana com orientações em CTSA. Nesse contexto,

a educação CTSA é aliada na estruturação do ensino da Nanociência e Nanotecnologia por propiciar a compreensão do conhecimento científico com valores sociais.

**Palavras-chave:** Nanociência e Nanotecnologia; Professores; Abordagem CTSA; Educação Básica.

### Abstract

Advances in the area of Nanoscience and Nanotechnology have been impacting society, making access and understanding of knowledge in this area essential for the population. For this purpose, schools need to be open to this topic, with inclusion in curriculum programs, teaching resources and classes. Therefore, teachers need to establish in their practices the scientific and technological values of these areas together with debates on the social and environmental implications. In this context, this exploratory study aimed to present knowledge about the practice of basic education teachers in teaching nanoscience and nanotechnology. The qualitative research consisted of observation, recording, transcription and analysis of classes taught by two basic education teachers. The analysis based on ZABALA 1998 and the CTSA perspective considered the actions, speeches and resources (materials and written texts/outlines) used by teachers during classes. The results indicate that the subjects covered had great potential for current discussions in their historical, ethical, political and socioeconomic aspects, despite the greater concern of teachers in teaching curricular content. The teachers demonstrated competence to integrate the theme with the CTSA approach, articulating the curricular content of Chemistry, Physics and Biology with current issues, such as Covid-19 vaccines and nanostructured materials and used traditional teaching resources - blackboards, videos on experimental practices - to arouse student interest and participation. There were no significant differences in the feasibility and depth of activities between primary and secondary education. We conclude that there is a possibility for teaching nanoscience and nanotechnology to go beyond the mere presentation of the subject's syllabus and contextualize other aspects of human nature with CTSA guidelines. In this context, CTSA education is an ally in structuring the teaching of Nanoscience and Nanotechnology by providing an understanding of scientific knowledge with social values.

**Keywords:** Nanoscience and Nanotechnology; Teachers; STSA Approach; Basic Education.

### Resumen

Los avances en el área de la Nanociencia y la Nanotecnología vienen impactando a la sociedad, haciendo que el acceso y comprensión del conocimiento en esta área sea esencial para la población. Para ello, las escuelas deben estar abiertas a este tema, incluyéndolo en los programas curriculares, recursos didácticos y clases. Por tanto, los docentes necesitan establecer en sus prácticas los valores científicos y tecnológicos de estas áreas junto con debates sobre las implicaciones sociales y ambientales. En este contexto, este estudio exploratorio tuvo como objetivo presentar conocimientos sobre la práctica de profesores de educación básica en la enseñanza de nanociencia y nanotecnología. La investigación cualitativa consistió en observación, grabación, transcripción y análisis de clases impartidas por dos docentes de educación básica. El análisis basado en ZABALA 1998 y la perspectiva CTSA consideró las acciones, discursos y recursos (materiales y textos escritos/esquemas) utilizados por los do-

centes durante las clases. Los resultados indican que los temas tratados tenían gran potencial para las discusiones actuales en sus aspectos históricos, éticos, políticos y socioeconómicos, a pesar de la mayor preocupación de los docentes en la enseñanza de los contenidos curriculares. Los docentes demostraron competencia para integrar el tema con el enfoque CTSA, articulando los contenidos curriculares de Química, Física y Biología con temas de actualidad, como las vacunas Covid-19 y los materiales nanoestructurados y utilizaron recursos didácticos tradicionales -pizarras, videos sobre prácticas experimentales- para despertar el interés y la participación de los estudiantes. No hubo diferencias significativas en la viabilidad y profundidad de las actividades entre la educación primaria y secundaria. Concluimos que existe la posibilidad de que la enseñanza de la nanociencia y la nanotecnología vaya más allá de la mera presentación del programa de la asignatura y contextualice otros aspectos de la naturaleza humana con las directrices de la CTSA. En este contexto, la educación CTSA es un aliado en la estructuración de la enseñanza de la Nanociencia y la Nanotecnología al brindar una comprensión del conocimiento científico con valores sociales.

**Palabras clave:** Nanociencia y Nanotecnología, Profesores, Enfoque CTSA, Educación Básica

## Introdução

A nanociência e a nanotecnologia apresentam visibilidade global e amplos financiamentos públicos e privados (Alfonso, 2011; Štremfelj & Smole, 2021). Abordam a produção e desenvolvimento de fenômenos associados à manipulação da matéria a nível de átomos, moléculas ou aglomerados de moléculas.

As mesmas propriedades que tornam a matéria nanoparticulada excepcional podem oferecer riscos se acumuladas no ambiente e nos organismos vivos. As partículas ultrafinas na faixa nanométrica ( $10^{-9}$  m) podem ser divididas em três categorias: as de ocorrência natural (e.g., cinza vulcânica, maresia, material mineral), como produto da atividade humana (e.g., descargas de veículos, fumaça de cigarro, emissões industriais na atmosfera) ou produzidas para determinado fim (e.g., nanotubos de carbono, nanofios, nanofibras). Com o aumento da concentração dessas duas últimas no ambiente, seus efeitos levam ao que se chama de nanopoluição. Na saúde humana, podem ter efeitos danosos sobre o DNA, sistema imunológico e no trato cardiorrespiratório (Chang, 2006). Apesar disso, a reatividade diferenciada das nanopartículas, e consequentemente dos nanomateriais, é utilizada para contornar danos ambientais, sendo aplicadas em métodos de nanorremediação *in situ*, que buscam transformar ou destoxificar poluentes. Ainda assim, sua mobilidade, biodisponibilidade, toxicidade e persistência no ambiente é um risco que deve ser bem avaliado (Karn et al., 2009).

Neste contexto é necessário que temas de nanociência e nanotecnologia estejam inseridos nas aulas de Ciências com abordagem em Ciência, Tecnologia, Sociedade (CTS). O ensino em CTS tem como objetivo promover o interesse nas interrelações entre o científico, o tecnológico e implicações sociais do seu uso. Com a incorporação da perspectiva na qual inclui as consequências dessas interações com o Meio Ambiente é, portanto, denominada de abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) (Santos, 2007).

No Brasil, desde o final do século XX, vem sendo recomendado o ensino com enfoque em CTS pelos Parâmetros Curriculares Nacionais como forma de educação tecnológica que busca formação de cidadãos aptos a desenvolver pensamento crítico para participação democrática nos processos que envolvem produção de ciência e tecnologia (BRASIL, Ministério da Educação, 2002). É fundamental que o ensino de nanociência esteja atrelado às discussões de seus aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos na atualidade (Rebello et al., 2012). Para tanto, no campo do ensino da Nanociência e Nanotecnologia, buscar o ensino crítico e contextualizado, é preciso encontrar respaldo na prática docente. Ao ensinar, os professores devem articular conhecimentos que envolvam o desenvolvimento da ciência e da tecnologia promovendo questionamentos sobre os valores científicos e tecnológicos e suas decorrentes implicações sociais (Campos, 2022)

O ensino de Ciências dentro da perspectiva da CTS pressupõe o rompimento com a educação bancária e um avanço não somente para a valorização do cotidiano, mas também para abordagens integradoras, para a reformulação de currículos, para o letramento científico e tecnológico, entre outras medidas práticas (Campos, 2010, p. 70).

A abordagem CTSA, possibilita o professor desenvolver formas alternativas ao modelo tradicional de ensino, estruturando os conteúdos de química em temas sociais, inserindo o conteúdo disciplinar conforme se torna necessário para a análise crítica e resolução dos problemas apresentados (Rebello et al., 2012). Assim, a prática profissional docente neste processo de formação de cidadãos críticos e reflexivos, necessita de oportunidades e espaços para desenvolvimento de suas práticas formativas pedagógicas e metodológicas baseadas na perspectiva de ensino CTSA. Deste modo, torna-se fundamental que haja a incorporação, sobre tudo de atividades formativas para desenvolvimento profissional docente (DPD)<sup>1</sup> com abordagem CTS e nos cursos de formação inicial docente (Marcelo, 2009).

Assim, é relevante estudar a prática dos professores em aspectos voltados à compreensão das tecnologias atuais, em especial à nanotecnologia no enfoque CTSA, resgatando o que é defendido nessa abordagem. O presente estudo é de natureza exploratória observando aulas de dois professores em exercício de suas atividades docentes, com o objetivo de apresentar conhecimentos forma como as aulas na temática nanociência estão sendo ministradas, ou seja, da abordagem didática e se há orientações CTSA durante a aula. Ter conhecimento das aulas dos professores nessa temática pode contribuir com programas e cursos de formação docente e romper barreiras para a inserção dos estudos da nanociência na educação básica. Diante desse objetivo, o estudo foi desenvolvido com professores jovens e em início de carreira da atuação docente (com cinco anos de docência) e atuantes nos anos finais dos diferentes níveis da Educação básica, Ensino Fundamental (9º ano) e Médio (3ª série)

<sup>1</sup> Entende-se o desenvolvimento profissional dos professores como um processo individual e coletivo que se deve concretizar no local de trabalho do docente: a escola; e que contribui para o desenvolvimento das suas competências profissionais, através de experiências de índole diferente, tanto formais como informais (Marcelo, 2009).

## Contextualização teórica

Em tempos não considerados distantes da atualidade, as pesquisas estavam mais voltadas para escalas microscópicas e hoje se baseiam na escala nanométrica. A ciência e a tecnologia nessa escala de comprimento, que ocorre de maneira controlável e reproduzível e envolvendo fenômenos que muitas vezes não ocorrem em outras escalas de tamanho, são denominadas como Nanociência e Nanotecnologia (Schulz, 2005). Esta área ganhou impulso na década de 1980, principalmente após o desenvolvimento de microscópios eletrônicos e de alguns nanomateriais à base de carbono, como os grafenos, fulerenos, nanotubos e etc (Lindsay, 2010) A ciência nessa escala é ampla e interdisciplinar, e a tecnologia envolve a produção de diversificados materiais, como: polímeros, cerâmicas, metais, semicondutores, compósitos e biomateriais (Pereira et al., 2010). Essas aplicações abrangem diversas áreas como eletrônicas, medicina, aeronáutica, cosméticos, meio ambiente, biotecnologia, agricultura e segurança nacional (Duran et al., 2006). Embora a nanociência e a nanotecnologia tragam consigo diferentes aplicações e benefícios, emergem debates não consensuais a respeito dos seus impactos, dividindo pesquisadores das mais diversas áreas.

A preocupação com a nanotoxicidade surge na medida em que diversificados nanomateriais são sintetizados, manipulados e descartados em diferentes ambientes, sejam naturais, urbanos ou industriais, sem o devido controle e regulamentação. Alguns motivos para atenção e cautela com os nanomateriais são: a) crescente produção industrial (aumento do risco de exposição); b) elevada área superficial devido tamanho nanométrico (alta reatividade química); c) enorme diversidade composicional e estrutural (sínteses, preparações, modificações, funcionalizações, heterogeneidade e impurezas); d) ensaios toxicológicos tradicionais não estão adaptados e padronizados para nanomateriais. (Martinez & Alves, 2013)

Para além dos impactos ambientais, Schulz (2009) elucida situações e generalidades associadas a nanotecnologia tanto em aspectos positivos quanto negativos:

A palavra “nanotecnologia” aparece em frases que falam sobre “nova revolução industrial”, “melhoria da qualidade de vida e desempenho humano”, “revolução invisível” ou “acabar com a fome no mundo e curar doenças”. Por outro lado, a “inovação é um elemento fundamental no desenvolvimento econômico”, melhor dizendo: “Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional”, de preferência “sustentável e visando a inclusão” (...) podemos verificar que tudo o que está entre aspas é positivo, mas inovação e nanotecnologia são também frequentemente associadas à exclusão social, riscos de crescimento não sustentável, impactos ambientais negativos e sobre a saúde (...) em resumo, inovação é associada tanto a aspectos positivos quanto negativos, tal como a nanotecnologia. (Schulz, 2009, p. 8).

Permeando os debates não consensuais, desde o início deste século a nanociência e a nanotecnologia vêm recebendo fortes incentivos. No Brasil, estudos relacionados à Nanotecnologia foram incentivados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

e Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), desde 2001, quando foram criadas quatro redes de pesquisa em nanociência e nanotecnologia (Alves, 2004; Da Silva Sant'Anna et al., 2013). Em Alfonso (2011), é descrito atividades de comunidades compostas por pesquisadores, tanto renomados quanto iniciantes, cujos dados levantados enfatizam a contribuição por representantes brasileiros. Em apenas três anos, entre 2002 e 2005, esta iniciativa resultou no envolvimento de 77 instituições de ensino e pesquisa, 13 empresas e 300 pesquisadores, com a publicação de mais de 1000 artigos científicos e depósito de mais de 90 patentes. No início deste século também havia diversos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) financiados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) (Da Silva Sant'Anna et al., 2013).

Nesta perspectiva, considerando que novos produtos e aplicações são apresentadas e disseminadas na sociedade com extrema intensidade e rapidez, faz necessário o acesso e entendimento pelo público, conhecendo tanto os conceitos científicos quanto às implicações sociais e ambientais envolvidas nesta tecnologia. Estudo aponta que para a população familiarizar-se com esses conceitos é preciso iniciar pela educação básica, no ensino fundamental e médio (Ellwanger; Rossato & Granada, 2012). Uma vez que a nanociência é uma área multidisciplinar possui potencial de abordados em diferentes disciplinas, como Biologia, Química, Física, Ciências Sociais, entre outras. Além disso, estudos tem apontado o ensino de nanociência na educação em temas atuais como vacinas de covid (Pampa-Quispe & Torres-Acurio, 2023) e com uso de novos recursos (Dorouka & Kalogiannakis, 2023).

A nanociência tem cunho interdisciplinar e permite abordar diferentes temas atuais, como solicitado pelos PCNs (Brasil, Ministério da Educação, 2000) e, além disso, apresenta possibilidades de aprendizagens dos conteúdos no nível de ensino da educação básica (Mandrikas et al., 2020). Deste modo, o fato do ensino de nanociência não ser contemplado no currículo da maioria dos cursos de formação de professores de Ciências pode impactar a formação docente e abrir margem para interpretações equivocadas sobre conceitos fundamentais de nanociência durante seu ensino (Lima, Almeida, 2012). Körbes (2013) menciona que é comum encontrar definições de escala nano pouco claras e imprecisas em inúmeros veículos de divulgação, como revistas, jornais, televisão, livros e etc. E cita um exemplo corriqueiro:

[...] uma nanopartícula tem um décimo de milésimo ou um centésimo de milésimo do diâmetro de um fio de cabelo". Nesse caso, além das dificuldades em relação às medidas de décimo e centésimo de milésimo, não está evidenciado o diâmetro de um fio de cabelo. O que compromete o entendimento do receptor da informação[...]. (Körbes, 2013, p. 164)

O autor ainda relata confusões conceituais das diferentes dimensões:

Algumas confusões são comuns por parte do público leigo, por exemplo: confundir átomos (da escala de nanômetros) com células (da escala de micrômetros); não saber se os átomos são compostos de moléculas ou se as moléculas são compostas de átomos; acreditar que as propriedades dos materiais em escala molecular ou atômica são as mesmas das substâncias em escala macroscópica (Körbes, p. 164, 2013).

No entanto, temos a hipótese de que a dificuldade em inserir nanotecnologia no ensino de Ciências esteja relacionado a vários fatores conceituais de diferentes, sendo tratada apenas em uma das esferas do conhecimento, a acadêmica. A mesma dificuldade deverá ser atenuada com a readaptação e estruturação de material didático, exploração de novas abordagens de ensino e formação de professores.

Diante desse contexto, percebemos que os saberes sofrem mudanças para uma linguagem mais adequada aos seus leitores, acabam sendo reestruturados de uma forma lógica e, de certa forma, atemporal. Assim, há o risco do conhecimento de nanociência e nanotecnologia ser interpretado de maneira errônea, generalizando processos de sua didatização sendo tratada como simplificação dos objetos complexos. Essa possibilidade, leva a outras consequências que permitem ainda, chegar a outras interpretações errôneas no que diz respeito às relações escolares, revelando o desconhecimento acerca do complexo processo de transformação desses saberes, “todo projeto social de ensino e aprendizagem se constitui dialeticamente com a identificação e a designação de conteúdo do saber (sábio) como conteúdo a ensinar” (Chevallard, 1998). Para Tardif (2014), nenhum saber é por si mesmo formador. Os mestres não possuem mais “saberes-mestres”, que venham garantir sua mestria: saber algo não é o bastante, é preciso saber ensinar.

“O saber transmitido não possui, em si mesmo, nenhum valor formador; somente a atividade de transmissão lhe confere esse valor. Em outras palavras, os mestres assistem a uma mudança na natureza da sua mestria que se desloca dos saberes para os procedimentos de transmissão dos saberes” (Tardif, 2002).

Em nossa concepção, a grade curricular dos cursos de licenciaturas é de fato um definidor importante para as concepções docentes sobre essa demanda, uma vez que definirá o campo de possibilidades no qual os professores consolidam suas ações e os saberes de experiência no ensino de nanociência e nanotecnologia. E evidentemente, esses aspectos continuarão nutrindo todo processo, juntamente com o objetivo de subsidiar a responsabilidade social do docente, assumindo atitudes problematizadoras e mediadoras em suas práticas. Vale ressaltar que, diante do alcance e importância da nanociência, não há grande disponibilidade das propostas encontradas, as quais muitas vezes são pontuais e ainda aparecem dispersas em diferentes contextos e fontes bibliográficas. Neste contexto, é necessário que as atividades estejam associadas com os conteúdos curriculares, entrelaçando de forma interdisciplinar os conceitos de biologia, química, física e matemática disponíveis aos professores e estudantes.

## Método

Considerando que a nanociência é uma área bastante interdisciplinar e a nanotecnologia apresenta várias aplicações atuais estando fortemente presente no cotidiano (mídias, mercado, etc), este estudo exploratório tem como perguntas norteadoras: i) Os professores abordam a temática de forma flexível e contextualizada? ii) Sentem-se confiantes ao debate, permeando conteúdos

científicos, produção e uso da tecnologia com aspectos sociais? A pesquisa com metodologia de natureza qualitativa, autorizada pelo comitê de ética de pesquisa CEP sob o nº 0549/2020 consistiu na observação e análise de aulas na temática de nanociência e nanotecnologia de dois professores da educação básica. Ambos os professores atuam em escolas particulares, sendo um do 9º ano do Ensino Fundamental, referenciado neste trabalho como P9EF e o outro da 3ª série do Ensino Médio, referenciado como P3EM. Para coletar as informações o pesquisador esteve presente na aula e com uso de gravador - que permaneceu na mesa do professor - obteve áudios das aulas relatadas. As gravações foram transcritas para posterior análise. A análise das aulas considerou as ações, discursos e recursos (materiais e textos/esquemas escritos) utilizados pelos professores. Esta análise foi desenvolvida em três etapas; primeiro por uma avaliação da aula completa, o todo, em seguida por recortes de trechos do diálogo ou postura do professor e estudantes e, por último, a obtenção de inferências entre as práticas apoiada em (Zabala, 1998) discorrendo sobre as perspectivas CTS. Para validação dos dados e confiabilidade na análise, o contexto da pesquisa, a transcrição e os recortes foram apresentados aos olhares de outros três pesquisadores da área de ensino de Ciências e, então as inferências foram reavaliadas e reestruturadas.

Conteúdos e aulas de nanociência, em geral, são consideradas inovadoras e ainda não possuem práticas de ensino bem estabelecidas e apresentadas nos livros didáticos, de modo que muitos professores podem se sentir inseguros para ministrar aulas nessa temática. Para auxiliar os professores foi fornecido previamente um plano de aula contendo um roteiro experimental e materiais de baixo custo para a síntese de nanopartículas magnéticas. A construção da proposta da aula teve a articulação dos conhecimentos das diferentes áreas das ciências. Com o objetivo dos estudantes compreenderem a escala nanométrica, as aplicações das nanopartículas magnéticas (NPMag) e identificarem o potencial dos nanomateriais, foi sugerido o uso de duas aulas contendo prática experimental, vídeos e textos de divulgação científica. Para subsídio teórico para a construção da proposta e roteiro experimental foram utilizados documentos disponíveis na literatura (Centro Ecológico, 2009; Gomes Da Silva & Toma, 2018; Schulz, 2005; Toma, 2004) e o artigo da Revista Química Nova “Desenvolvendo Habilidades e Conceitos de Nanotecnologia” (Tasca et al., 2015). O roteiro apresentou dois procedimentos alternativos e simples, para fins didáticos, voltados para a preparação de nanopartículas superparamagnéticas e posterior observação do efeito Tyndall em coloides. A prática experimental sugerida poderia propiciar momentos de discussão sobre temas de caráter tecnológico e de transformação que permeiam as diferentes áreas das ciências, oferecendo potencial para aplicações nanotecnológicas em processos catalíticos, fluidos magnéticos, biotecnologia, biomedicina e descontaminação ambiental. Apesar do direcionamento dado na proposta da aula e roteiro, cada professor teve autonomia de planejar e realizar suas aulas conforme seus valores de prática pedagógica.

## Resultados e sua discussão

Os dois professores optaram por realizar duas aulas com cerca de 50 minutos cada, onde a primeira contemplava a maior parte dos conteúdos e com isso, os objetivos teóricos e introdutórios

a temática nanociência; e posteriormente, em uma segunda aula a aplicação do roteiro experimental com a síntese de nanopartículas. Apesar do fornecimento da proposta da aula, os professores desenvolveram o próprio planejamento para a aula empregando o roteiro experimental sugerido. Houve diferenças nos recortes, destaques e inserções de cada professor, aspectos que foram analisados em relação aos saberes docentes (Gauthier, 2006; Tardif, 2014) e na perspectiva CTS

P3EM e P9EF iniciaram a aula definindo e explicando a escala nano,  $10^{-9}$ m. O P3EM usou discurso protagonizado pelo professor, escolheu a imagem da escala disponibilizada no roteiro (com objetos de uso comum e unidades de medidas que os estudantes já estão mais familiarizados), adicionou um vídeo com escala e apresentou figuras de materiais híbridos e caracterização de nanomateriais. O professor também fez uma associação com o enredo do filme Homem-Formiga (K. B. dos Santos & M. C. Moreira, 2022). Com intuito de provocar motivação ao estudo do desenvolvimento das ciências e tecnologias, P3EM associou os conteúdos da aula com resultados dos materiais estudados em sua pesquisa acadêmica (dissertação) e direcionou seu discurso para nomenclaturas e fórmulas. Neste momento, ao lado da apresentação da investigação e avanços tecnológicos, o professor poderia ter avançado o debate sobre a construção do conhecimento científico, reforçando que o conhecimento científico, como bem definido por Kuhn (1998), está em construção permanente e evolui com rupturas conceituais e históricas. P3EM finaliza a aula apresentando o uso dos microscópios eletrônicos na área de nanociência. No assunto de nanoescala P9EF começa a aula com a notação científica  $10^{-9}$ m e com um discurso questionador esclareceu as diferentes dimensões das “tais coisas pequenas” que estão em escalas diferentes, como células, átomos e elétrons. Em tom de brincadeira, os estudantes instigam o professor a adicionar muitos zeros após a vírgula para mostrar que é muito, muito pequeno. Neste fio de discurso, o PCB9 apresenta dois tipos de microscópios eletrônicos: de transmissão e varredura, e com uma linguagem mais próxima dos estudantes que permite a imaginação do funcionamento desses microscópios e importância para o desenvolvimento da Ciência.

Na segunda parte da aula, ambos professores comentaram sobre as mudanças de propriedades dos materiais em decorrência da mudança de escala, de macro para nano. Exemplificando com as cores das nanopartículas de ouro, o conteúdo teve boa aceitação da turma e, embora foi observado que os professores não ampliaram a contextualização para outros materiais, pelos discursos e sua forma ficou nítido que não apresentaram dificuldades de explicar esse conteúdo. Sobre as aplicações da nanotecnologia, P9EF contextualiza o processo sócio histórico da obtenção das vacinas para a Covid-19 e menciona que recentemente os brasileiros tiveram acesso aos produtos advindos desta tecnologia. Então, ocorre diálogos com a turma, que geram questionamentos constantes, com um vai e vem de perguntas que retrucam respostas e outras perguntas. A obtenção e importância das vacinas abre espaço para tratar tantos os aspectos científicos tecnológicos como os impactos sociais, éticos, econômicos e políticos envolvidos nesse processo. O professor permite um intervalo de tempo curto para o debate e em seguida volta a explicar o conceito da vacina da @Pfizer apresentando os conceitos de micelas, hidrofobicidade e hidrofiliabilidade e lipossomas

Na aula experimental, sobre a atração das nanopartículas ferromagnéticas pelo ímã e o efeito Tyndall, o P3EM trouxe explicações com bastante conceitos científicos, como: spins, magne-

tismo, elétrons, refração da luz. Por outro lado, o professor P9EF iniciou a discussão em paralelo com o personagem *Baymax* do filme *Operação Big Hero 6*<sup>2</sup> abordando aspectos do magnetismo, ímãs e nanorobôs. Ambos optaram por desenvolver a prática de modo demonstrativo, no caso do P3EM escolheu alguns alunos a participarem ativamente da atividade e no caso do P9EF, a participação dos estudantes foi limitada a observação e comunicação oral. O P3EM direciona a prática para a visualização dos fenômenos e assimilação dos termos técnicos, enquanto o P9EF associa as observações com a representatividade dos processos pelo uso de símbolos e equações químicas. O professor comenta sobre o funcionamento da bússola, os experimentos de Orsted e novamente faz menções a filmes de ficção científica e apresenta as aplicações das nanopartículas em dispositivos eletrônicos e fármacos, comentando especialmente sobre *drugs delivery*. No final do experimento, o professor induz os alunos a refletirem todo o processo da prática a partir do início, a transformação química e os estados da matéria.

Da análise, os professores foram convidados a aplicar aula(s) na temática nanociência, tendo um prosoposta didática e um roteiro experimental pré-estabelecido. Da proposta, os dois professores cumpriram a parte experimental indicando a valorização dessa atividade no processo de ensino e aprendizagem. Os professores abordaram conceitos de escala nano, microscópio, magnetismo e efeito Tyndall trazendo informações, exemplos e analogias diferentes que culminam no fato dos estudantes reconhecerem estes fenômenos. Em geral, as aulas foram direcionadas ao ensino dos conceitos e processos científicos, o que é bastante comum, por uma preocupação e tradição escolar de cumprir o contrato pedagógico disciplinar, ofertando aos estudantes o acesso aos conteúdos que poderão ser cobrados nos exames de proficiência.

No tocante sequência de ensino e organização de conteúdo, percebemos que houve uma ordenação articulada pela intenção educacional, os professores encadearam as aulas, seguindo apresentação de conteúdos e contextualização e parte experimental, sendo que o P9EF retoma os conteúdos e a contextualização após a demonstração da síntese e propriedades das nanopartículas. Para além da exposição oral, se valeram de diferentes recursos como lousa, slides, filmes e a caixa de materiais e reagentes de laboratório. Atividades com intuito de promover motivação, auto estima, conflito cognitivo e a curiosidade científica. Houve preocupação de abordar tantos os conteúdos centrais, específicos da nanociência, como aplicar os fundamentais, como fórmulas e equações químicas, símbolos e células além de tratar a temática de forma flexível e contextualizada. Concernente as relações interativas e organização social da sala, (ZABALA) houve bastante interação nas relações estabelecidas entre os professor, os alunos e os conteúdos, conforme apresentado nas descrições das aulas os professores, estando atento a diversidade dos estudantes, usaram várias estratégias e recursos tendo plasticidade na aplicação da proposta. Nas interações, ressalta que os dois professores citaram filmes, produções audiovisuais comerciais associando fenômenos científicos com a ficção. Uma estratégia que permite maior interação com os estudantes e que seria oportuno abrir o debate para desconstruir possíveis similaridades equivocadas entre o científico e a ficção. A configuração do

<sup>2</sup> Esta obra, uma animação produzida pela Walt Disney Animation Studios e Marvel Films, é uma adaptação da história em quadrinhos produzida pela Marvel Comics pelo nome de Big Hero 6. Esta animação de longa-metragem contou com a direção de Chris Williams e Don Hall. O personagem principal é o robô BayMax.

agrupamento em sala, nas aulas teóricas ocorreu de forma individualizada e na prática com o um grupo maior com proximidade à demonstração do professor, organizações que expressam os objetivos das próprias atividades.

Sobre a abordagem CTSA, ainda que o ensino dos conteúdos tenham sido priorizados na aula, a abordagem CTSA esteve presente em vários momentos das aulas dos dois professores. O professor P9EF apresentou maior direcionamento a abordagem CTS, apresentando dois longos debates com a turma sobre o processo das três vacinas da Covid-19 disponibilizadas no Brasil e também a história do magnetismo. No caso das vacinas da Covid-19, foi notável a preocupação do professor em expor o conhecimento científico em um espaço democrático de debate, como um compromisso social com a temática. Poderia ter ampliado o debate e incluir a discussão sobre: i) dimensão científica e tecnologia, expondo os processos para garantir a segurança e a eficácia da vacina e a logística envolvida no armazenamento e distribuição das vacinas, iii) as dimensões sociais, econômicas e políticas, debatendo o custo, financiamentos, compra, regulamentação governamental e acesso equitativo às vacinas, entre outros tópicos.

Embora presente a abordagem CTSA nas aulas do professor P9EF e P3EM, certamente, poderia ter sido ampliado propiciando também a compreensão dos avanços da nanotecnologia em paralelo com os avanços da Ciência, entendendo que a Ciência é uma construção questionável, com caráter provisório, desenvolvida por pessoas e influenciada por relações sociais (Auler & Delizoicov, 2002; Santos & Mortimer, 2001).

## Conclusões

O desafio do ensino da nanociência e nanotecnologia em CTSA ultrapassa a mera apresentação de conteúdos programáticos da disciplina, mas sobretudo, contextualiza aspectos de natureza humana e das relações sociais. Este estudo da observação e análise das aulas demonstrou que os professores tiveram habilidades de integrar a temática com a abordagem CTSA, articulando o conteúdo curricular da Química, Física e Biologia com questões atuais (vacinas da Covid-19 e materiais nanoestruturados) e mesmo com o uso de recursos didáticos tradicionais (lousa, vídeos e experimentos) despertaram o interesse e a participação dos estudantes.

A análise comparativa das aulas dos dois professores de anos finais de cada nível da educação básica não apresentou diferenças quanto a viabilidade e aprofundamento das atividades e debates, concluindo que independente da faixa etária dos estudantes e ano escolar houve possibilidade de ministrar aulas nesta temática tanto no ensino fundamental quanto no ensino médio com bom aproveitamento do processo ensino-aprendizagem.

Esse estudo exploratório trouxe a oportunidade de conhecer aulas de Nanociências na educação Básica, tal como essas são ministradas, no entanto é preciso pontuar limitações considerando a pequena amostra de professores, as condições específicas de trabalho (escola particular, 15 a 20 estudantes, horas de atividades pedagógicas extra sala, etc), características dos professores (jovens, recém formados em universidade de excelência com título de mestres).

Com essas limitações e a lacuna na literatura sobre estudos de nanociência na educação básica, em especial direcionados aos professores e a orientação CTS, é bastante pertinente o desenvolvimento de outros estudos neste tópico.

Em nossa concepção, a estruturação do ensino da Nanociência e Nanotecnologia deve ser aliada à educação CTSA, propiciando a compreensão do conhecimento científico como valores éticos e sociais. Para tanto, é necessário considerar a profissão docente e o seu desenvolvimento como parte dos elementos fundamentais e cruciais que vão assegurar a qualidade da aprendizagem dos estudantes na perspectiva CTSA. Desse modo este estudo traz a luz

## Contribuições dos autores

Conceptualização: Lucinéia F. Ceridório e Camila L. B. Nonato; Metodologia: Lucinéia F. Ceridório e Camila L. B. Nonato; Análise formal: Lucinéia F. Ceridório e Camila L. B. Nonato; Investigação: Camila L. B. Nonato e Lucinéia F. Ceridório; Recursos: Camila L. B. Nonato. Escrita - Esboço original: Lucinéia F. Ceridório e Camila L. B. Nonato; Escrita - Revisão & Edição: Lucinéia F. Ceridório e Camila L. B. Nonato;

## Referências

- Alfonso, A. B. (2011). Situação atual da divulgação e do treinamento em nanociência e nanotecnologia no Brasil. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinária En Nanociencias y Nanotecnologia*, 4(2). <http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano/article/view/44966>
- Alves, O. (2004). Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. *Parcerias Estratégicas*, 18, 23–40. [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewArticle/138](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewArticle/138)
- Auler, D., & Delizoicov, D. (2002). Ciência-tecnologia-sociedade: relações estabelecidas por professores de ciências. *Iv encontro nacional de pesquisa em educação em ciências*, 1–13.
- Brasil, Ministério da Educação (MEC), S. de E. M. e T. (2000). *Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio*.
- Brasil, Ministério da Educação (MEC), S. de E. M. e T. (2002). *PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*.
- Campos, F. R. G. (2022). Ciência, Tecnologia e Sociedade. In *Revista multidisciplinar.Com* (Vol. 4, Issue 1). <https://doi.org/10.23882/rmd.22096>
- Centro Ecológico. (2009). *Nanotecnologia: a manipulação do invisível*.
- Chang, R. P. H. (2006). A call for nanoscience education. *Nanotoday*, 1(2), 6–7. [https://doi.org/10.1016/S1748-0132\(06\)70028-7](https://doi.org/10.1016/S1748-0132(06)70028-7)
- Chevallard, Y. (1998). La transposición didáctica. *La Transposición Didáctica - Del Saber Sabio Al Saber Enseñado*, 1–67.

- Da Silva Sant'Anna, L., De Menezes Alencar, M. S., & Ferreira, A. P. (2013). em nanotecnologia no Brasil: Desenvolvimento, potencialidades e reflexões para o meio ambiente e a saúde humana. *Química Nova*, 36(2), 348–353. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000200024>
- Dorouka, P., & Kalogiannakis, M. (2023). Teaching nanotechnology concepts in early-primary education: an experimental study using digital games. *International Journal of Science Education*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2286299>
- Duran, N., Mattoso, L. H. C., & Morais, P. C. de. (2006). *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação* (Artliber (ed.)).
- GAUTHIER, C. (2006). *Por uma teoria da pedagogia: pesquisas contemporâneas sobre o saber docente* (2ª ed). Unijui.
- Gomes Da Silva, D., & Toma, H. E. (2018). *Cartilha Educativa para Divulgação e Ensino da Nanotecnologia*.
- Karn, B., Kuiken, T., & Otto, M. (2009). Nanotechnology and in situ remediation: A review of the benefits and potential risks. *Environmental Health Perspectives*, 117(12), 1823–1831. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900793>
- Korbes, C. (2013). *Educação Não-Formal Em Mídias : Divulgação Científica Sobre Nanotecnologia Cleci Körbes Educação Não-Formal Em Mídias : Divulgação Científica*. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Programa De Pós-Graduação Em Tecnologia.
- Kuhn, T. (1998). *A estrutura das revoluções científicas* (Perspectiva (ed.); 5ª).
- LIMA, M. C. A; ALMEIDA, M. J. P. . (2012). Articulações de textos sobre nanociência e nanotecnologia para a formação inicial de professores de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4).
- Lindsay, S. M. (2010). *Introduction to Nanoscience*. Oxford Press.
- Mandrikas, A., Michailidi, E., & Stavrou, D. (2020). Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science and Technological Education*, 38(4), 377–395. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1631783>
- Marcelo, C. (2009). Desenvolvimento Profissional Docente: passado e futuro. *Revista de Ciências Da Educação*, 8, 7–21. <https://doi.org/10.5212/PraxEduc.v.13i2.0001>
- Martinez, D. S. T. e, & Alves, O. L. (2013). Interaction of nanomaterials with biosystems and the nanotoxicology: in the direction of regulation. *Journal of the Brazilian Society for the Advancement of Science*, 65, 32–36.
- Pampa-Quispe, N. B., & Torres-Acurio, J. (2023). Nanoscience & Nanotechnology in Current Education: an Emerging Interdisciplinary Proposal Post-Covid-19. *Momento*, 2023(66), 90–109. <https://doi.org/10.15446/mo.n66.102031>
- Pereira, F. D., Honório, K. M., & Sannomiya, M. (2010). Nanotecnologia: Desenvolvimento de Materiais Didáticos para uma Abordagem no Ensino Fundamental. *Química Nova Escola*, 32(2), 73–77.
- Rebello, G. A. F., Argyros, M. D. M., Leite, W. L. L., Santos, M. M., Barros, J. C., Santos, P. M. L. Dos, & Silva, J. F. M. Da. (2012). Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando a abordagem CTSA. *Química Nova Escola*, 34(1), 3–9. [http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34\\_1/02-QS-79-10.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34_1/02-QS-79-10.pdf)
- Santos, K. B. dos, & Moreira, M. C. do A. (2022). A utilização das histórias do Homem Formiga como contexto para o Ensino de Física. *Olhar de Professor*, 25, 1–25. <https://doi.org/10.5212/olharprof.v.25.20055.037>
- Santos, W. L. P. (2007). Contextualização no ensino de ciências. *Ciência & Ensino*, 1.
- Santos, W. L. P., & Mortimer, E. F. (2001). Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. *Ciência e Educação*, 7, 95–111. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000100007>
- SCHULZ, P. A. B. (2009). *A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologias e riscos*. Vieira & Lent.

- Schulz, P. a B. (2005). O que é Nanociencia. *Física Na Escola*, 66, 2–6.
- Štremfelj, J., & Smole, F. (2021). Nanotechnology and Nanoscience - From Past Breakthroughs to Future Prospects. *Informacije MIDEM*, 51(1), 25–48. <https://doi.org/10.33180/InfMIDEM2021.102>
- Tardif, M. (2014). *Saberes docentes e formação profissional*. (Vozes (ed.); 17ª Ed.).
- Tardif, M. (2002). *Saberes docentes e formação profissional*. Petrópolis/RJ: Vozes
- Tasca, R. A., Almeida, J. R. L. de, Silva, D. G. da, Melo, F. M. de, & Toma, H. E. (2015). Desenvolvendo Habilidades e Conceitos de Nanotecnologia no Ensino Médio por Meio de Experimento Didático Envolvendo Preparação e Aplicação de Nanopartículas Superparamagnéticas. *Química Nova Na Escola*, 37(3), 236–240. <https://doi.org/10.5935/0104-8899.20150044>
- TOMA, E. H. (2004). *O Mundo Nanométrico: a dimensão do novo século*. *Oficina de Textos*. Oficina de textos.
- Zabala, A. (1998). A Avaliação. In *A prática educativa: como ensinar* (pp. 195–221). <https://www.ifmg.edu.br/ribeiraodasneves/noticias/vem-ai-o-iii-ifmg-debate/zabala-a-pratica-educativa.pdf>