

ENSINO DE NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA NA FORMAÇÃO DE PROFISSIONAIS AMBIENTAIS: UMA EXPERIÊNCIA NO CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL¹

TEACHING NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY IN THE TRAINING OF ENVIRONMENTAL PROFESSIONALS: AN EXPERIENCE IN THE HIGHER EDUCATION COURSE IN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

**Paulo Castro Cardoso da Rosa², Mayara Bitencourt Leão³,
Belkis Chalup Silveira Roesler⁴ e Danilo Almeida Souza⁵**

RESUMO

As nanociências e a nanotecnologia são importantes instrumentos contemporâneos para a compreensão e manipulação da natureza. Na área ambiental, a nanotecnologia pode ser utilizada em processos de recuperação e/ou purificação da água, dos corpos hídricos, do ar e do solo. Desse modo, aqui serão apresentadas percepções e reflexões sobre um projeto de intervenção didática, que teve como objetivo apresentar os conceitos introdutórios sobre nanociências e nanotecnologia para futuros profissionais ambientais. Para tal, a partir de uma contextualização sobre a realidade da instituição escolhida para a intervenção e dos seus alunos, foi elaborado um plano de aula. Além disso, foi realizada uma observação da aula antes da aplicação da intervenção. Participaram da aula 14 discentes do componente de Química Geral do primeiro semestre do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. Os resultados obtidos indicam a importância da aula expositiva e dialogada e da resolução de exercícios e problemas em sala de aula, e a necessidade da inserção do ensino de nanociências e nanotecnologia na formação de profissionais ambientais. Sendo assim, propõe-se uma metodologia didática na qual o ensino de nanociências e nanotecnologia seja adotado na Educação Profissional e Tecnológica, especialmente para a Gestão Ambiental, mas também para demais cursos da área ambiental. Por outro lado, devido ao espaço que as nanociências e a nanotecnologia vêm tomando no cenário contemporâneo global, sugere-se também o desenvolvimento de outras pesquisas, projetos e materiais didáticos que pensem essa temática em outras áreas de ensino ou eixos temáticos, para além da formação de profissionais ambientais.

Palavras-chave: Projeto de Intervenção Didática; Educação Profissional e Tecnológica; Meio Ambiente.

¹ Trabalho Final de Curso da Especialização em Docência para a Educação Profissional e Tecnológica (DocentEPT) do Instituto Federal da Bahia (IFBA).

² Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária (UNIPAMPA, 2018). Mestre em Engenharia (UNIPAMPA, 2021). Professor Substituto da Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, RS. E-mail: pcastrocardosodarosa@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2612-2017>

³ Doutora em Ciência dos Materiais (UFRGS, 2023). Professora Adjunta da Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, RS. E-mail: mayaraleao@unipampa.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2247-8059>

⁴ Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos (FURG, 2021). Professora Substituta do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Viamão, RS. E-mail: belkistroesler@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0974-0278>

⁵ Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS, 2019). Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal da Bahia (IFBA), Ilhéus, BA. Professor do Programa de Pós-Graduação em Educação Profissional e Tecnológica (Mestrado Profissional) - ProfEPT/IFBA. E-mail: danilos@ifba.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7091-7533>

ABSTRACT

Nanoscience and nanotechnology are important contemporary tools for understanding and manipulating nature. In the environmental field, nanotechnology can be applied in the recovery and/or purification of water, air, and soil. This paper presents insights and reflections on a teaching intervention project aimed at introducing introductory concepts of nanoscience and nanotechnology to future environmental professionals. Based on an analysis of the context of the selected institution and its students, a lesson plan was developed. In addition, a classroom observation was carried out before the intervention. Fourteen students enrolled in the General Chemistry course during the first semester of the Higher Technological Program in Environmental Management participated in the activity. The results highlight the importance of expository and dialogic classes, as well as problem-solving activities in the classroom. They also emphasize the need to incorporate nanoscience and nanotechnology into the education of environmental professionals. Accordingly, a didactic methodology is proposed in which the teaching of these fields is integrated into Professional and Technological Education, particularly in Environmental Management courses, but also in other programs within the environmental field. Given the increasing prominence of nanoscience and nanotechnology in today's global context, further research, projects, and educational materials are also recommended to explore this topic across other educational areas or thematic axes, beyond the training of environmental professionals.

Keywords: Didactic Intervention Project; Professional and Technological Education; Environment.

1 INTRODUÇÃO

As nanociências e a nanotecnologia constituem-se como importantes instrumentos contemporâneos para a compreensão e a manipulação da natureza. Na teoria, nanotecnologia é o termo utilizado para descrever a engenharia de sistemas em escala molecular, projetando, construindo e/ou manipulando dispositivos, materiais e sistemas funcionais em escala nanométrica (Da Róz *et al.*, 2015; Zarbin, 2019). A nanotecnologia pode ser compreendida como uma consequência prática da nanociência, transformando o conhecimento científico sobre o mundo nanométrico em aplicações tecnológicas e mercadológicas. Nesse contexto, os nanomateriais possuem um grandioso potencial para as mais diversas aplicações científicas e tecnológicas. Devido a essa ampla aplicabilidade, o mercado global da nanotecnologia para o ano de 2024 promete ultrapassar os US\$ 125 bilhões (Zarbin, 2019).

A multidisciplinaridade dos estudos envolvendo as nanociências e a nanotecnologia permite as suas aplicações nos mais diversos campos do conhecimento, englobando, inclusive, as aplicações ambientais. Na área ambiental, a nanotecnologia pode ser utilizada em processos de recuperação e/ou purificação da água, dos corpos hídricos, do ar e do solo (Linley; Thomson, 2021). Além disso, também surgem questões como os riscos da nanotecnologia e dos nanomateriais ao meio ambiente (Rosa *et al.*, 2021) e sobre os métodos de mineração sustentável para obtenção das matérias-primas para a produção de nanomateriais (Hernández-Saravia *et al.*, 2023), temas de extrema importância para a atuação de profissionais ambientais no contexto atual.

Nesse sentido, foi planejado e desenvolvido um Projeto de Intervenção Didática na Educação Profissional e Tecnológica para apresentar de forma introdutória os conceitos iniciais sobre

nanotecnologia, que precisam ser dominados por profissionais ambientais, sobretudo aqueles que cursaram Química Geral. Tais profissionais podem ser os técnicos em meio ambiente, os gestores ambientais, os engenheiros ambientais e/ou sanitaristas, bem como os demais profissionais que atuem especificamente na área ambiental, como, por exemplo, biólogos, geólogos, agrônomos e engenheiros florestais.

O título e o tema escolhidos para a aplicação do projeto foram “Introdução à Nanotecnologia para Profissionais Ambientais”, envolvendo o ensino de nanociências e nanotecnologia. A importância de se planejar uma intervenção pedagógica sobre o tema escolhido para a educação profissional e tecnológica consiste em formar adequadamente os futuros profissionais ambientais. Isso permite que esses profissionais possam ter domínio, ao menos introdutório, desse assunto contemporâneo e emergente, sobretudo para aqueles que atuam na área ambiental, tendo como vantagem conhecer tais conceitos para enfrentar os desafios cada vez mais complexos do mercado de trabalho. Assim, esses estudantes da área ambiental estarão preparados adequadamente para resolver problemas e propor soluções, ao se deparar com situações que envolvam a relação entre nanotecnologia e meio ambiente, em suas futuras jornadas como profissionais.

O componente curricular escolhido para essa intervenção foi Química Geral do primeiro semestre do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, do Campus Viamão do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, que oferta cursos técnicos de nível médio no formato integrado, mas também subsequentes ao ensino médio, além de cursos superiores, dentre os quais figura tecnólogo em Gestão Ambiental, pertencente ao eixo temático/tecnológico ambiente e saúde. As principais seções que fizeram parte do projeto de intervenção foram: introdução à nanotecnologia, diferenças entre nanotecnologia e nanociências, conhecimento de escalas (desde o mundo quântico ao astronômico), sistema e conversão de unidades, nanomateriais, origem e desenvolvimento dos nanomateriais, nanomateriais de carbono, aplicações ambientais da nanotecnologia e riscos associados a essas aplicações.

A proposta de intervenção didática teve como objetivo geral propor uma abordagem dos conceitos introdutórios de nanociências e nanotecnologia para profissionais ambientais, buscando interlocuções da temática com sua futura atuação profissional e aperfeiçoando as competências de planejamento e desenvolvimento de projetos e assessoramento técnico e consultoria.

Para atingir o objetivo geral, foram elaborados os seguintes objetivos específicos: (i) sistematizar em etapas a apresentação dos temas através de uma aula expositiva dialogada, desde a introdução até as aplicações, propondo a resolução de exercícios em aula; (ii) correlacionar a temática das nanociências e da nanotecnologia com os conceitos que os alunos estão aprendendo na disciplina de química geral, sendo eles: elementos químicos, ligações químicas e reações químicas; e (iii) apresentar situações que provocassem os discentes a vislumbrarem atuações profissionais no âmbito da gestão ambiental e que sejam na área de nanociências e nanotecnologia.

Neste artigo, descrevemos o desenvolvimento e a aplicação do projeto de intervenção didática, apresentando reflexões e percepções da prática em sala de aula e dialogando com autores que pesquisam sobre o ensino de nanociências e nanotecnologia, por meio de uma pesquisa bibliográfica e da discussão dos resultados.

2 METODOLOGIA

Para a elaboração desse artigo, que trata do ensino de nanociências e nanotecnologia na formação de profissionais ambientais, tomamos como objeto de análise uma intervenção didática realizada na disciplina de Química Geral do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, do Campus Viamão do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS). A partir desse objeto, apresentamos uma abordagem qualitativa, partindo das reflexões do docente que realizou a intervenção e de uma pesquisa bibliográfica em diálogo com o tema.

A construção do projeto de intervenção baseou-se, primeiramente, na elaboração de um plano de aula a partir de uma contextualização da realidade da instituição escolhida para a intervenção e de seus alunos. Para isso, foram realizadas conversas com os professores da instituição de ensino e pesquisas sobre a instituição em questão, a cidade na qual está inserida, a realidade dos alunos e sobre o Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, principalmente por meio da consulta ao Projeto Político Pedagógico do Curso (2022). Além disso, foi realizada uma observação da aula antes da aplicação da intervenção com a finalidade de perceber as experiências e conhecimentos dos discentes.

Para a elaboração do plano de aula foram utilizadas algumas das sugestões do Livro 2 “Planejamento do Ensino na Educação Profissional” e do Livro 3 “Mediação e Avaliação na Educação Profissional” apresentados e disponibilizados na disciplina de Didática na Educação Profissional e Tecnológica do Curso de Pós-Graduação em Docência para a Educação Profissional e Tecnológica (DocentEPT) do Instituto Federal da Bahia (IFBA). Esses livros foram desenvolvidos como material para o curso DocentEPT, disponibilizados no Ambiente Virtual de Aprendizagem do IFBA e sugeridos durante as disciplinas como fontes de fundamentação e orientação para a elaboração do plano de aula. No Quadro 1 pode ser observado o Plano de Aula, que foi elaborado anteriormente à aplicação da intervenção, com todas as informações em relação ao desenho do projeto de intervenção.

Para discutir os resultados obtidos a partir da aplicação do projeto de intervenção, bem como o ensino de nanociências e nanotecnologia e apresentar as percepções presentes nesse artigo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica exploratória, buscando artigos com objeto de pesquisa semelhante. Para tal, a base de dados utilizada foi o Google Acadêmico e a busca foi feita pelos termos “ensino de nanociências e nanotecnologia”. Os artigos incluídos foram selecionados com base na leitura dos seus resumos, resultados e conclusões.

Quadro 1 - Plano de aula de aplicação do Projeto de Intervenção.

Dados básicos da aula
<p>Eixo temático: Ambiente e Saúde;</p> <p>Nome do curso técnico: Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental;</p> <p>Nome da disciplina: Química Geral;</p> <p>Data: 14 de março de 2024, às 18h40min;</p> <p>Tema da aula: Introdução à nanotecnologia para profissionais ambientais;</p> <p>Local da atividade: Sala de aula, campus Viamão do IFRS;</p> <p>Carga horária: 4 tempos de 50 minutos.</p>
1. Competências
<p>Competência Geral:</p> <p>Coordenar equipes multidisciplinares de licenciamento ambiental.</p> <p>Competências Específicas:</p> <p>Planejamento e Desenvolvimento de projetos;</p> <p>Assessoramento técnico e Consultoria.</p>
2. Metodologia
<p>2.1 Estratégia de ensino:</p> <p>Aula expositiva dialogada;</p> <p>Resolução de exercícios.</p> <p>2.2 Implementação da estratégia - primeira parte (duas horas/aula):</p> <p>Nos momentos iniciais, os alunos serão questionados se já tiveram contato ou se possuem alguns conhecimentos prévios sobre os termos nanotecnologia e nanoescala ou se já ouviram falar sobre aplicações na área ambiental da nanotecnologia. Em seguida, o professor iniciará a introdução dos conceitos sobre escalas, as semelhanças e divergências entre escalas desde a realidade quântica até a realidade astronômica e dará sequência aos conteúdos. Neste momento, o docente irá animar e orientar o processo de aprendizagem, trazendo conhecimentos novos, reorientando os pressupostos inicialmente formulados pelos alunos, fazendo a turma interagir, alertando para perigos, realizando a mediação docente e avaliando a aprendizagem. O professor apresentará imagens, esquemas, gráficos e estruturas químicas para questionar e interagir com os alunos.</p> <p>2.2.1 Momento inicial (primeiro momento da aula):</p> <p>O professor introduzirá temas ou técnicas que permitirão preparar o estudante para o que será desenvolvido a seguir. Os temas e as técnicas serão as seguintes: escalas, do quântico ao astronômico, passando pelo nanométrico, sistema internacional de medidas e operações de conversão de unidades, por meio de imagens, esquemas, gráficos e estruturas químicas.</p> <p>2.2.2 Desenvolvimento (segundo momento da aula):</p> <p>O professor proporá aos alunos que eles resolvam um exercício de conversão de unidades para que utilizem os saberes apresentados no primeiro momento de aula, conhecimentos técnicos importantes para planejar e desenvolver projetos.</p> <p>2.2.3 Fechamento da primeira parte (terceiro momento da aula):</p> <p>O professor observará quais alunos conseguiram resolver o exercício e os que não conseguiram, até que etapa conseguiram avançar, e após resolverá no quadro com todos, interagindo e observando as dificuldades dos alunos. Após será realizado o intervalo de 15 minutos.</p> <p>2.3 Implementação da estratégia - segunda parte (duas horas/aula):</p> <p>O professor iniciará a introdução dos conceitos sobre o que são os nanomateriais, qual a origem dos nanomateriais, os nanomateriais de carbono e as aplicações ambientais dos nanomateriais. Neste momento, o docente irá animar e orientar o processo de aprendizagem, trazendo conhecimentos novos, reorientando os pressupostos inicialmente formulados pelos alunos, fazendo a turma interagir, alertando para perigos, realizando a mediação docente e avaliando a aprendizagem. O professor apresentará imagens, esquemas, gráficos e estruturas químicas para questionar e interagir com os alunos.</p>

2.3.1 Momento inicial (primeiro momento da aula):

O professor introduzirá temas ou técnicas que permitirão preparar o estudante para o que será desenvolvido a seguir. Os temas e as técnicas serão as seguintes: sobre o que são os nanomateriais, qual a origem dos nanomateriais, os nanomateriais de carbono, as aplicações ambientais dos nanomateriais e os riscos dos nanomateriais ao meio ambiente. A exposição será realizada através de imagens, esquemas, gráficos e estruturas químicas.

2.3.2 Desenvolvimento (segundo momento da aula):

O professor questionará os alunos se eles conhecem empresas que utilizam a nanotecnologia ou que produzam matérias-primas para o desenvolvimento de nanomateriais e propor problemas ambientais envolvendo o escopo de atuação dessas empresas, conhecimentos essenciais para o assessoramento técnico e consultoria realizado por gestores ambientais.

2.3.3 Fechamento da segunda parte da aula (terceiro momento da aula):

O professor observará quais alunos possuíam conhecimentos prévios sobre as empresas que utilizam nanotecnologia ou que produzem matérias-primas para o desenvolvimento de nanomateriais e aqueles alunos que apresentarem soluções aos problemas propostos pelo professor, interagindo e observando as dificuldades dos alunos.

3. Avaliação

No fechamento das primeiras duas horas de aula (primeira parte) será avaliada a capacidade dos discentes de resolver um exercício de conversão de unidades, sendo essa habilidade um dos parâmetros que podem ser utilizados para perceber se futuramente eles serão capazes de planejar e desenvolver projetos, visto que projetos ambientais envolvem constantemente as alterações de unidades de medidas.

No fechamento das segundas duas horas de aula (segunda parte) será avaliada a capacidade dos alunos de proporem soluções a problemas ambientais apresentados pelo professor, a partir da realidade dos alunos, dialogando com o docente. Assim, será possível avaliar a capacidade dos alunos de prestarem assessoramento técnico e consultoria para empresas.

Alunos que tentarem resolver o exercício de conversão de unidades (25% da nota);

Alunos que conseguirem resolver o exercício de conversão de unidades (15% da nota);

Alunos que propuserem soluções para os problemas ambientais, mesmo que inadequadas (35% da nota);

Alunos que propuserem soluções adequadas para os problemas ambientais (25% da nota).

4. Recursos necessários

Notebook, projetor de slides, apresentação de slides, caneta para quadro lousa branco, quadro lousa branco.

5. Referências

BRASIL, MEC (Ministério da Educação). **Catálogo Nacional dos Cursos Superiores de Tecnologia**. 3ª Ed. Brasília: MEC/SERES-SETec, 2016.

ROSA, Paulo Castro Cardoso da. **Macroestruturas porosas de óxido de grafeno reduzido decoradas com partículas de prata: um estudo teórico-experimental**. Dissertação - Mestrado em Engenharia. Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2021.

TOMA, Henrique E. **O Mundo Nanométrico: A Dimensão do Novo Século**. Oficina de Textos. São Paulo, 2004.

TOMA, Henrique E. **Nanotecnologia experimental**. Editora Blucher. São Paulo, 2016.

Fonte: Construção dos autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A importância de uma aula expositiva e dialogada, que incentive os alunos a realizarem a participação em aula e interagirem com o professor e com os colegas, é o primeiro resultado obtido a partir da intervenção e será discutido ao longo dessa seção. Desse modo, a percepção do docente sobre o processo de ensino-aprendizagem torna-se mais clara e objetiva, permitindo ao docente ajustar os conteúdos abordados durante a aula de acordo com as demandas dos discentes e avaliar a aprendizagem dos estudantes. Na Figura 1 é possível observar o professor no momento de introdução da aula e dos conteúdos.

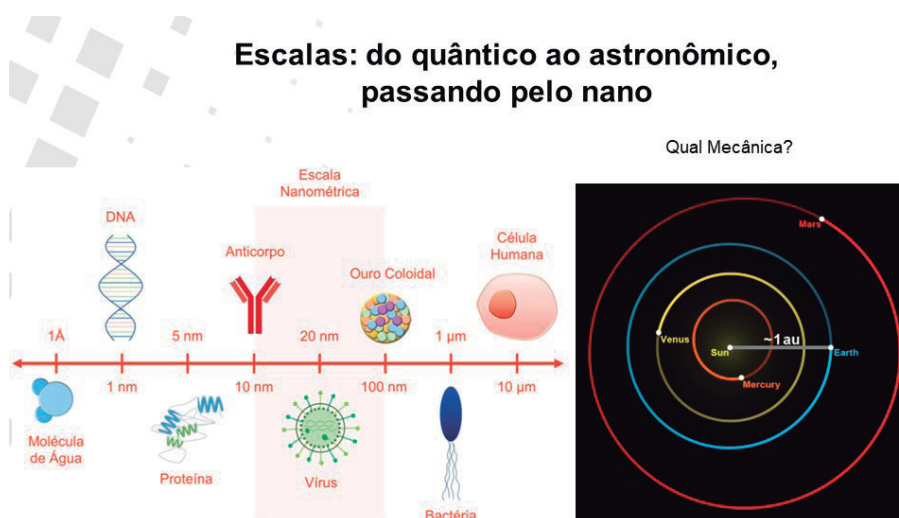
Figura 1 - Apresentação dos conteúdos iniciais da aula pelo docente.



Fonte: Construção dos autores.

O slide que está sendo apresentado pelo professor na Figura 1 pode ser observado mais detalhadamente na Figura 2. A Figura 2 tem como objetivo retratar com fidelidade o que foi apresentado aos discentes durante a intervenção didática e, portanto, priorizando figuras didáticas, que foram de fato utilizadas durante a aula, em detrimento da originalidade. Ao abordar os conteúdos envolvendo as nanociências e a nanotecnologia, primeiramente é preciso compreender que esses conteúdos são uma interface entre a ciência e a tecnologia e que tratam de sistemas químicos, físicos e biológicos, que apresentam características estruturais acima de átomos individuais e que estejam em escala nanométrica (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019).

Figura 2 - Slide apresentado sobre escalas, desde a realidade quântica, passando pela escala nanométrica até a escala astronômica.



Fonte: adaptado de Apolinário *et al.* (2020) e Wikipédia (2018).

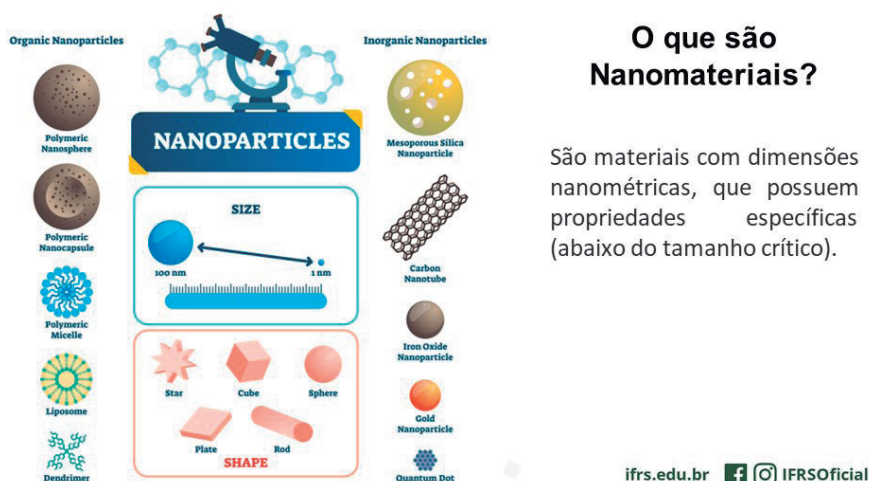
Nessa etapa foi abordado o conteúdo sobre a diferença entre as escalas e também sobre o funcionamento da realidade quântica e da realidade astronômica, visto que a realidade quântica comporta-se mecanicamente diferente da realidade astronômica, sendo a escala nanométrica uma interface entre essas duas realidades (Bursten; Hartmann; Millstone, 2016). Os discentes apresentaram um grande interesse e uma alta interação sobre questões envolvendo a Física. Esta é uma disciplina essencial para a compreensão do tema abordado nessa intervenção e que não é contemplada no Projeto Político Pedagógico do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental (2022), mas que pode ser introdutoriamente apresentada em outros componentes, sendo o caso dessa intervenção na disciplina de Química Geral.

Ao final dos dois primeiros tempos de aula, o professor aplicador da intervenção propôs aos alunos que resolvessem um exercício de conversão de unidades para utilizarem os saberes apresentados no primeiro momento de aula, conhecimentos técnicos importantes para planejar e desenvolver projetos. Entretanto, devido ao grande interesse dos alunos e participação em aula, foi possível resolver os exercícios diretamente no quadro com a interação de todos.

Nos dois tempos finais de aula os conteúdos abordados foram: o que são os nanomateriais, qual a origem dos nanomateriais, os nanomateriais de carbono, as aplicações ambientais dos nanomateriais e os riscos dos nanomateriais ao meio ambiente. Esses conteúdos foram apresentados em slides por meio de imagens, esquemas, gráficos e estruturas químicas, exemplificados na Figura 3. A Figura 3, assim como a Figura 2, tem como objetivo retratar com fidelidade o que foi apresentado aos discentes durante a intervenção didática, priorizando figuras didáticas em detrimento da originalidade.

Aqui, chega-se em um ponto fundamental, além de estarem na escala nanométrica, os nanomateriais precisam estar abaixo de um determinado tamanho crítico. Abaixo desse tamanho, as propriedades de um determinado nanomaterial se diferenciam das propriedades do mesmo material em escala macroscópica. Além disso, as propriedades de um nanomaterial não dependem somente do seu tamanho, mas também da sua composição, estrutura e formato (Zarbin; Oliveira, 2013).

Figura 3 - Apresentação sobre “o que são nanomateriais”.



Fonte: Adaptado de Wang (2024).

Após essa apresentação sobre os nanomateriais e demais temas previstos para os segundos dois tempos da aula, o professor questionou os alunos se eles conheciam empresas que utilizam a nanotecnologia ou que produzam matérias-primas para o desenvolvimento de nanomateriais e propôs problemas ambientais envolvendo o escopo de atuação dessas empresas, conhecimentos essenciais para o assessoramento técnico e consultoria realizado por gestores ambientais. Mais uma vez, foi possível notar um grande interesse e participação dos alunos nessa atividade, ressaltando a importância de uma aula expositiva dialogada e da resolução de exercícios e problemas em sala de aula, desde que através de uma metodologia adequada. A participação dos alunos deu-se por meio de partilhas sobre suas opiniões, conhecimentos e experiências, não somente em relação ao tema, mas principalmente ao apresentarem seus conhecimentos prévios, nas suas áreas de formação e prática profissional, a saber: técnicos em segurança do trabalho, técnicos em topografia e catadores de materiais recicláveis. Essa interação também se deu entre eles, ao complementarem e/ou exemplificarem as ideias apresentadas pelos colegas.

Abordar aplicações gerais da nanotecnologia em diferentes áreas do conhecimento costuma despertar interesse nos mais diversos interlocutores, por se tratar de um tema emergente e atrativo. Nesse sentido, apresentar as aplicações ambientais da nanotecnologia para estudantes da área ambiental, despertou neles a percepção da atualidade e da importância técnica e tecnológica da sua área de atuação. Sobretudo, para o mercado de trabalho contemporâneo, que busca e precisa buscar cada vez mais um desenvolvimento consoante com o cuidado ambiental, expresso, por exemplo, na utilização de nanotecnologia para a recuperação e/ou purificação dos ecossistemas. Além disso, falar sobre os riscos dos nanomateriais ao meio ambiente levantou preocupações nos discentes, levando-os a perceber a importância da mediação e do equilíbrio entre as aplicações e implementações das novas tecnologias e da avaliação dos seus riscos ambientais, o que profissionalmente incide sobre a área ambiental.

Na mesma linha desse trabalho, um estudo bibliográfico publicado por Tonet e Leonel (2019) indica que o cenário do ensino de nanociências e nanotecnologia na disciplina de Física em nível básico e superior está em desenvolvimento, mas mesmo assim ainda encontra-se precário. Os principais desafios levantados por esse estudo mostram que há desatualização dos currículos, falta de apoio aos docentes e ausência significativa de materiais didáticos de qualidade, que abordem as questões sociais, éticas, políticas e econômicas relacionadas a esta temática. Por outro lado, atualmente, tal cenário encontra-se em modificação, com um maior número de pesquisas e materiais didáticos em desenvolvimento, o que facilitará a abordagem em sala de aula sobre esse tema pelos professores (Tonet; Leonel, 2019).

Outro estudo bibliográfico, publicado por Silva Júnior *et al.* (2020), demonstrou que existem pesquisas que propõem atividades extracurriculares, que envolvam experimentos sobre síntese de nanopartículas, bem como estudos de análise de discurso, através de questionários aplicados a alunos e professores. Entretanto, esse mesmo estudo concluiu que o ensino de nanociências e nanotecnologia na educação básica brasileira ainda é limitado e que são necessárias mais pesquisas nessa área (Silva Júnior *et al.*, 2020).

Uma pesquisa qualitativa realizada por Tomkelski, Scremin e Fagan (2019), propôs três perspectivas para o ensino de nanociências e nanotecnologia nas disciplinas de Matemática e de Ciências da Natureza dos ensinos médio e superior. São elas: abordagens básicas para o desenvolvimento de conteúdo, integração com o conteúdo curricular e suplementação as atividades de sala de aula. As atividades extraclasse permitem aprofundar os conhecimentos em ciência e tecnologia. Além disso, conforme essa pesquisa, existe um suporte legal para a inserção desse tema no ensino médio e superior, somado às atuais necessidades sociais econômicas e ambientais que exigem dos mais diversos profissionais conhecimentos básicos em relação a nanociências e a nanotecnologia, resultado que vem ao encontro da proposta desse trabalho (Tomkelski; Scremin; Fagan, 2019).

Outro estudo que vem de encontro com esse trabalho foi desenvolvido por Clebsch e Watanabe (2017), que no mesmo sentido da abordagem inicial desse projeto de intervenção, apresentou o ensino de nanociência e nanotecnologia a partir da escala. Para tal elaborou uma hipermídia (vídeo/blog), possibilitando discutir sobre a elaboração desse objeto educacional e analisar as interações entre os seus usuários. As suas principais conclusões apontam para utilização de uma linguagem direcionada aos usuários, aliada ao conteúdo apresentado para obter eficiência na aprendizagem (Clebsch; Watanabe, 2017).

Um artigo publicado por Silva e Lopes (2020) constatou que o ensino de nanociências e nanotecnologia ainda é abordado timidamente nas ciências naturais, focando mais especificamente em textos de divulgação, práticas com discentes do ensino básico e formações para docentes, sobretudo na década de 2010. Sendo assim, é necessário um maior empreendimento na produção de materiais didáticos, formação de professores e divulgação científica (Silva; Lopes, 2020).

As descobertas tecnológicas e os estudos científicos também são fatores considerados no desenvolvimento das legislações educacionais, um exemplo é a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Desse modo, um estudo documental conduzido por Lopes e Rodrigues (2023) analisou a forma com que a BNCC pode indicar o ensino de nanociências e nanotecnologia no ensino básico e concluiu que a implementação da BNCC pode favorecer a inserção dessa temática na educação básica, fato que vem sendo brandamente realizado nos últimos anos.

Alves e Lima (2018) desenvolveram uma sequência didática para o ensino de nanociências e nanotecnologia com os alunos da educação básica. Após a aplicação da sequência didática, foi possível perceber que abordar esse tema leva a uma ampliação dos conhecimentos científicos e tecnológicos dos discentes, bem como um aumento no interesse por ciência e tecnologia (Alves; Lima, 2018). Os principais resultados obtidos pelas pesquisas citadas nesse trabalho, em conjunto com os resultados por eles obtidos, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados sobre o ensino de nanociências e nanotecnologia.

Nível de ensino	Metodologia	Principais resultados	Referência
Básico e superior	Pesquisa bibliográfica	Há desatualização dos currículos, falta de apoio aos docentes e ausência significativa de materiais didáticos de qualidade, mas pesquisas e elaboração de materiais didáticos estão em desenvolvimento.	Tonet; Leonel, 2019.
Médio e superior	Pesquisa qualitativa	Propôs três perspectivas para o ensino de nanociências e nanotecnologia: abordagens básicas para o desenvolvimento de conteúdo, integração com o conteúdo curricular e suplementação as atividades de sala de aula.	Tomkelski; Scremin; Fagan, 2019.
Básico	Pesquisa bibliográfica	O ensino de nanociências e nanotecnologia na educação básica brasileira ainda é limitado e são necessárias mais pesquisas nessa área.	Silva Júnior <i>et al.</i> , 2020.
	Elaboração de hipermídia	Utilização de uma linguagem direcionada aos usuários, aliada ao conteúdo apresentado para obter eficiência na aprendizagem.	Clebsch; Watanabe, 2017.
	Pesquisa bibliográfica	O ensino de nanociências e nanotecnologia ainda é abordado timidamente nas ciências naturais, focando mais especificamente em textos de divulgação, práticas com discentes do ensino básico e formações para docentes.	Silva; Lopes, 2020.
	Pesquisa documental	A implementação da BNCC pode favorecer a inserção dessa temática na educação básica, fato que vem sendo brandamente realizado nos últimos anos.	Lopes; Rodrigues, 2023.
	Desenvolvimento de sequência didática	Abordar esse tema leva a uma ampliação dos conhecimentos científicos e tecnológicos dos discentes, bem como um aumento no interesse por ciência e tecnologia.	Alves; Lima, 2018.
Profissional e tecnológico	Aplicação de projeto de intervenção	Importância da aula expositiva e dialogada e da resolução de exercícios e problemas em sala de aula, bem como a importância da inserção do ensino de nanociências e nanotecnologia na formação de profissionais ambientais e na Educação Profissional e Tecnológica como um todo.	Esse trabalho.

Fonte: Construção dos autores.

Chama a atenção ao observar a Tabela 1 que as pesquisas encontradas e citadas envolvem pensar o ensino de nanociências e nanotecnologia no Brasil no ensino superior e básico, mas ainda há uma ausência de pensar esse tema na Educação Profissional e Tecnológica. Um caso concreto de ensino de nanociências e nanotecnologia na formação de profissionais ambientais ocorre, por exemplo, no Projeto Político Pedagógico do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa (2023), *campus* Caçapava do Sul, que apresenta como componente curricular optativo Nanotecnologia Aplicada à Engenharia. Mesmo assim, ocorre para o caso do ensino superior e não do ensino profissional e tecnológico. Desse modo, também é uma contribuição desse trabalho o incentivo ao ensino de nanociências e nanotecnologia na Educação profissional e Tecnológica, principalmente para o caso do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos no projeto de intervenção didática, objeto de análise desse artigo, foi possível perceber a importância da aula expositiva e dialogada e da resolução de exercícios

e problemas em sala de aula, bem como da utilização de metodologias nas quais os alunos possam interagir e desenvolver o processo de ensino-aprendizagem, com o professor e entre si. Além disso, foi possível notar que é extremamente necessário, no contexto hodierno, a inserção do ensino de nanociências e nanotecnologia na formação de profissionais ambientais, tendo em conta os problemas tecnoambientais emergentes advindos com a contemporaneidade. Essa inserção pode ocorrer, por exemplo, de forma interdisciplinar e nas ementas de disciplinas das áreas de Química e Física.

Finalmente, a partir do projeto de intervenção e da revisão bibliográfica realizada para análise e discussão dos resultados obtidos, propõe-se uma metodologia didática na qual o ensino de nanociências e nanotecnologia seja adotado na Educação Profissional e Tecnológica, especialmente para o Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, mas também para demais cursos da área ambiental. Adicionalmente, devido ao espaço que as nanociências e a nanotecnologia vêm tomando no cenário contemporâneo global, sugere-se também o desenvolvimento de outras pesquisas, projetos e materiais didáticos que pensem essa temática em outras áreas de ensino ou eixos temáticos, para além da formação de profissionais ambientais, buscando uma formação crítica e reflexiva dos estudantes nos mais diversos campos do conhecimento, além de demonstrar a importância da integralização dos saberes, envolvendo as aplicações de novas tecnologias, a preocupação e o cuidado ambiental e a prática profissional.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Jairo Veras; LIMA, Maria Consuelo Alves.** Uma abordagem sobre nanociência e nanotecnologia na educação básica. *Ensino e Multidisciplinaridade*, São Luís (MA), v. 4, n. 2, p.33-52, 2018.
- APOLINÁRIO, Alexsandra Conceição et al.** Abrindo a caixa de pandora dos nanomedicamentos: há realmente muito mais ‘espaço lá embaixo’. *Química Nova*, v. 43, p. 212-225, 2020.
- BURSTEN, Julia R.; HARTMANN, Michael J.; MILLSTONE, Jill E.** Conceptual analysis for nanoscience. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, v. 7, n. 10, p. 1917-1918, 2016.
- CLEBSCH, Angelisa Benetti; WATANABE, Marcio.** Abordagem da nanociência e nanotecnologia a partir da escala. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 15, n. 1, 2017.
- DA RÓZ, Alessandra Luzia et al.** Nanoestruturas: princípios e aplicações. In: **Coleção Nanociência e Nanotecnologia: Princípios e Aplicações**. Elsevier, v. 1, 2015.
- HERNÁNDEZ-SARAVIA, Lucas Patricio et al.** Sustainable use of mining and electronic waste for nanomaterial synthesis with technological applications: state of the art and future directions. *Green Chemistry Letters and Reviews*, v. 16, n. 1, p. 2260401, 2023.

LINLEY, Stuart; THOMSON, Neil R. Environmental applications of nanotechnology: nano-enabled remediation processes in water, soil and air treatment. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 232, n. 2, p. 59, 2021.

LOPES, Mirleide Dantas; RODRIGUES, César Teixeira. Nanociência e Nanotecnologia: uma análise documental a partir da BNCC. *Revista Física no Campus*, v. 3, n. 2, 2023.

NASROLLAHZADEH, Mahmoud et al. An introduction to nanotechnology. In: **Interface science and technology**. Elsevier, p. 1-27, 2019.

PPC. Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Bacharelado. Caçapava do Sul, 2023.

PPC. Projeto Pedagógico do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. Viamão, 2022.

ROSA, Paulo Castro Cardoso da et al. Evaluation of the carbon nanostructures toxicity as a function of their dimensionality using model organisms: A review. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 232, n. 9, p. 367, 2021.

SILVA JÚNIOR, Carlos Alberto da et al. Ensino de nanociência e nanotecnologias no Brasil: uma revisão sistemática. *INTERNATIONAL JOURNAL EDUCATION AND TEACHING (PDVL)* ISSN 2595-2498, v. 3, n. 3, p. 1-18, 2020.

SILVA, Paulo Ricardo da; LOPES, José Guilherme da Silva. Nanociência e Nanotecnologia em foco: reflexões sobre um tema a ser explorado na educação em ciências. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 11, n. 6, p. 497-513, 2020.

TOMKELSKI, Mauri Luís; SCREMIN, Greice; FAGAN, Solange Binotto. Ensino de Nanociência e Nanotecnologia: perspectivas manifestadas por professores da educação básica e superior. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 25, p. 665-683, 2019.

TONET, Michele Duarte; LEONEL, André Ary. Nanociência e Nanotecnologia: uma revisão bibliográfica acerca das contribuições e desafios para o ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 36, n. 2, p. 431-456, 2019.

WANG, Yongjie. Nanomateriais ajudam a iluminar a área de ciências da vida - Aplicações de nanossondas fluorescentes na área de imagens biológicas. *Olympus Life Science*. 16 Maio, 2024. Disponível em: <https://www.olympus-lifescience.com/pt/discovery/nanomaterials-brighten-up-life-science-bioimaging-applications-of-fluorescent-nanoprobes/>. Acesso em: 26 jul. 2024.

Wikipédia. Unidade Astronômica. 2018. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Unidade_astron%C3%B4mica. Acesso em: 09 de fev. de 2024.

ZARBIN, Aldo José Gorgatti. Nanoscience and Nanotechnology - A True Revolution in the Way of Thinking Nature Brazilian. *Journal of Analytical Chemistry*, v. 5, n. 20, p. 12-13, 2019.

ZARBIN, Aldo José Gorgatti; OLIVEIRA, Marcela M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis?. *Química Nova*, v. 36, p. 1533-1539, 2013.