

## DIVULGANDO A NANOCIÊNCIA E A NANOTECNOLOGIA NO ENSINO MÉDIO À LUZ DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Alessandra Alexandrino Aquino<sup>1</sup>, Antonio Joel Ramiro de Castro<sup>2</sup>, Gilberto Dantas Saraiva<sup>3</sup>, Carlos Alberto Santos de Almeida<sup>4</sup>

Recebido: fevereiro/2024 - Aprovado: fevereiro/2025

**RESUMO:** Nas últimas décadas, o avanço científico revolucionou nossa visão do mundo, especialmente a Nanociência e a Nanotecnologia (N&N). Diante disso, surgiu o desafio de disseminar o conhecimento sobre N&N no contexto educacional. Nessa perspectiva, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as contribuições do uso de uma sequência didática, ancorada na aprendizagem significativa, para o ensino de N&N a alunos do ensino médio. Para tanto, foi conduzida uma pesquisa de abordagem qualitativa com finalidade exploratória, permeada pelas seguintes etapas: aplicação de um questionário pré-teste, apresentação da cartilha “Compreendendo o mundo nano: O que é Nanociência e Nanotecnologia?”, visualização de vídeos informativos e aplicação de um questionário pós-teste. A análise comparativa dos resultados demonstrou que os alunos ampliaram seus conhecimentos sobre o tema e reconheceram a presença da Nanotecnologia em suas vidas cotidianas. Isso indica que as atividades de divulgação desempenharam um papel significativo no desenvolvimento cognitivo dos estudantes, capacitando-os a compreender as aplicações e implicações da Nanotecnologia no avanço tecnológico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sequência didática. História em Quadrinhos. Cartilha. Ensino de Física. Ensino Básico.

**ABSTRACT:** In recent decades, scientific advancement has revolutionized our view of the world, especially Nanoscience and Nanotechnology (N&N). Given this, the challenge of disseminating knowledge about N&N in the educational context arises. From this perspective, the present work aims to evaluate the contributions of using a didactic sequence, anchored in meaningful learning, for teaching N&N to high school students. To this end, qualitative research was conducted with an exploratory

- 1 <https://orcid.org/0000-0001-8946-8555> - Doutoranda em Ensino pela Universidade Federal do Ceará (Polo RENOEN - UFC). Professora Assistente da Universidade Estadual do Ceará (UECE), com lotação na Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu (FECLI). Endereço para correspondência: Av. Dr. Dário Rabêlo, SN, Santo Antônio, 63502-253, Iguatu, Ceará, Brasil. E-mail: als.aquino@uece.br.
- 2 <https://orcid.org/0000-0003-3489-8712> - Doutor em Física pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor Adjunto da Universidade Federal do Ceará (UFC) - campus Quixadá. Endereço para correspondência: Av. José de Freitas de Queiroz, 5003, Cedro, 63900-000, Quixadá, Ceará, Brasil. E-mail: joelcastro@fisica.ufc.br.
- 3 <https://orcid.org/0000-0003-4912-6213> - Doutor em Física pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor Associado da Universidade Estadual do Ceará (UECE), com lotação na Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central (FECLESC). Endereço para correspondência: Rua José de Queiroz Pessoa, Nº 2554, Planalto Universitário, 63900-000, Quixadá, Ceará, Brasil.
- 4 <https://orcid.org/0000-0002-4841-761X> - Doutor em Física pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Professor Titular da Universidade Federal do Ceará (UFC). Endereço para correspondência: Campus do Pici, 60455-760, Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: carlos@fisica.ufc.br.





purpose, permeated by the following steps: application of a pre-test questionnaire, presentation of the booklet “Understanding the nanoworld: What are Nanoscience and Nanotechnology?”, viewing of informative videos and application of a post-test questionnaire. The comparative analysis of the results demonstrated that the students expanded their knowledge on the topic and recognized the presence of Nanotechnology in their daily lives. This indicates that dissemination activities played a significant role in the cognitive development of students, enabling them to understand the applications and implications of Nanotechnology in technological advancement.

**KEYWORDS:** Didactic sequence. Comic Book. Primer. Teaching Physics. Basic education.

## Introdução

Atualmente, pesquisadores estão profundamente engajados na discussão dos temas Nanociência e Nanotecnologia (N&N), devido às singulares propriedades dos materiais em escala nanométrica. Estes pesquisadores dedicam seus esforços na exploração do mundo nano, com o objetivo de conceber inovações tecnológicas capazes de abordar questões contemporâneas, como a poluição ambiental, a crise energética, a sustentabilidade, o tratamento de doenças, o tratamento de água, entre outros desafios (BAYDA *et al.*, 2020).

Entretanto, apesar da extensa pesquisa nessa área, é frequente encontrar estudantes e até mesmo professores da área de Ciências da Natureza que, em sua maioria, nunca tiveram contato com informações sobre N&N ou que, quando têm, não conseguem compreender de que maneira esses campos podem contribuir para a criação de tecnologias cruciais no contexto do desenvolvimento da sociedade atual, por exemplo na criação de vacinas em tempo recorde, entre outras possibilidades. Nesse sentido, o trabalho de Tomkelski, Scremin e Fagan (2019) reitera essa discussão, evidenciando que alguns professores admitem não possuir conhecimentos suficientes para promover abordagens de N&N em sala de aula, ao passo que outros manifestaram receio em abordar estes tópicos por se tratar de assuntos complexos.

Assim, a Nanotecnologia promete uma revolução no estilo de vida e comunicação das pessoas. Muitos países, tanto desenvolvidos quanto emergentes, consideram a nanotecnologia uma prioridade em suas pesquisas para o avanço científico e tecnológico nacional. Uma medida adotada por essas nações é a inclusão do ensino de N&N no currículo escolar, especialmente em disciplinas como Física e Ciências, desde o ensino fundamental (YU; JEN, 2020; HA; LAJIUM, 2022). Isso ressalta a importância de transmitir esses conhecimentos aos estudantes e destacar suas implicações na formação de cidadãos informados e críticos sobre os processos científicos e tecnológicos subjacentes à produção dos bens cotidianos. No entanto, é uma realidade ainda distante das escolas públicas brasileiras (TONET; LEONEL, 2019).

Considerando o vasto leque de aplicações da N&N, é fundamental proporcionar aos alunos a oportunidade de conhecer e refletir sobre esses avanços científicos e tecnológicos. Isso estimula o aprendizado geral e abstrato, promovendo um conhecimento mais amplo e prático na sociedade. Alunos e professores da educação básica devem compreender as possibilidades e os impactos da N&N, pois essas áreas prometem inovações nas tecnologias existentes (MANOU *et al.*, 2022).



Apesar de serem temas discutidos na comunidade científica, é preocupante que as escolas não estejam acompanhando esses avanços, distanciando-se dos interesses e necessidades dos alunos em busca de uma educação científica mais relevante. Isso acontece devido à associação da nanociência com a ideia de envolver apenas equipamentos de laboratórios sofisticados e dispendiosos, o que cria obstáculos para o interesse de professores e alunos no assunto (MANOU *et al.*, 2022; TONET; LEONEL, 2019). De acordo com Silva e Lopes (2019), a implementação de práticas inovadoras, compreendidas como ações relacionadas à atuação docente, incluindo a melhoria de estratégias de ensino e a reavaliação do currículo estabelecido, pode desempenhar um papel crucial na superação dos desafios enfrentados pela educação brasileira.

Os estudantes frequentemente manifestam falta de interesse pela disciplina de Física devido à dificuldade em perceber a pertinência dos fenômenos, conceitos e aplicações tecnológicas dessas teorias em suas vidas diárias. Diante dessa situação, o professor enfrenta o desafio de tornar os conteúdos de Física mais significativos e diretamente aplicáveis à realidade dos alunos (MOREIRA, 2021). Portanto, como podemos implementar estratégias que estabeleçam conexões concretas entre essas teorias e o dia a dia dos estudantes?

Nessa perspectiva, este trabalho tem como objetivo geral investigar como a integração dos conceitos de N&N no ensino médio pode promover a aprendizagem significativa entre os estudantes, explorando suas percepções, compreensão e envolvimento com esses campos interdisciplinares, visando contribuir para o aprimoramento da educação científica nesse nível de ensino.

A exploração de tópicos vinculados à N&N foi executada por meio da utilização de uma cartilha em formato de quadrinhos, intitulada “Compreendendo o Mundo Nano: O que é Nanociência e Nanotecnologia?”, produto educacional desenvolvido durante o Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Este material foi concebido como uma ferramenta potencialmente significativa com o propósito de enriquecer o desenvolvimento cognitivo dos estudantes. Neste contexto, é fundamental transcender as abordagens tradicionais de ensino descontextualizado do dia a dia, com o propósito de promover uma educação mais cativante, capaz de instigar a curiosidade dos estudantes em relação ao conteúdo, além de prepará-los para se tornarem cidadãos críticos e ativos na sociedade.

## Referencial teórico

O método tradicional de ensino, caracterizado por aulas expositivas e o uso de livros didáticos, muitas vezes é considerado tedioso pelos estudantes. No entanto, alguns autores defendem que a inclusão de histórias em quadrinhos (HQs) como ferramenta complementar pode tornar o processo de aprendizagem mais envolvente e eficaz. As histórias em quadrinhos, como meio de comunicação de massa, são populares entre crianças e adolescentes, oferecendo uma abordagem acessível para transmitir informações e simplificar conceitos abstratos, científicos e ideias complexas por meio de analogias com fenômenos familiares (CAVALCANTE; NOVAIS; FERREIRA, 2019).



No âmbito do ensino de Ciências da natureza, as HQs têm se revelado uma ferramenta valiosa para diversificar as aulas, que muitas vezes são caracterizadas por exposições repetitivas de problemas complexos. As HQs oferecem uma abordagem inovadora combinando entretenimento com aprendizado, tornando os conceitos científicos mais acessíveis e envolventes para os alunos. Através de uma narrativa que combina elementos textuais e visuais, elas transformam equações e teorias em enredos cativantes, proporcionando uma compreensão prática e visual dos fenômenos físicos (FEITOSA *et al.*, 2020).

## Nanociência e Nanotecnologia

A N&N constituem campos multidisciplinares que abrangem diversas áreas do conhecimento, tais como Física, Química, Matemática, Medicina, Economia, Computação e diversas disciplinas da engenharia (MANOU *et al.* 2022). Esses domínios desempenham um papel abrangente em várias esferas da sociedade, como na redução das dimensões dos dispositivos de armazenamento de dados em computadores, no desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos, na criação de produtos cosméticos, na concepção de tratamentos que envolvem o transporte de medicamentos através de nanocápsulas e na prevenção de doenças, através da nanomedicina (BAIG; KAMMAKAKAM; FALATH, 2021).

De outro ponto de vista, a N&N, podem ser apresentadas em abordagens interdisciplinares (SANTOS *et al.*, 2020). Para Japiassu (1976), a interdisciplinaridade exige que se mantenha um equilíbrio entre amplitude, profundidade e síntese. A amplitude garante a construção de uma ampla base de conhecimento e informação. A profundidade assegura a aquisição de conhecimento e informações disciplinares e/ou interdisciplinares necessárias para a realização da tarefa em questão. A síntese, por sua vez, garante a concretização do processo integrador (SILVA; CUSATI; GUERRA, 2018; JAPIASSU, 1976).

Dessa forma, é possível estabelecer conexões significativas entre a nanociência e uma ampla gama de conceitos e questões relevantes no contexto educacional, promovendo uma compreensão mais profunda e aplicada desses assuntos (MANOU *et al.* 2022; YU; JEN, 2020). Essa abordagem não apenas enriquece a experiência de aprendizado dos estudantes, mas também os prepara para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades no mundo moderno, onde a nanotecnologia desempenha um papel cada vez mais central. Nesse sentido, Carvalho e Watanabe (2019) indicam que o desafio persiste em educar cidadãos capazes de lidar eficazmente com as situações do seu dia a dia, sendo uma das principais dificuldades enfrentadas pela educação no século XXI.

A incorporação do mundo da N&N na educação pode potencializar o protagonismo dos estudantes, uma vez que o ensino desses campos se encontra na vanguarda da pesquisa moderna. Todos os indivíduos precisam não apenas compreender as particularidades envolvidas nessa área, mas também reconhecer o seu papel como agentes de transformação. De acordo com Figueirêdo *et al.* (2018), os alunos não devem apenas memorizar uma definição de maneira mecânica, sem relacioná-la ao seu cotidiano. É



necessário repensar os currículos escolares e realizar uma reestruturação do ambiente escolar que estimule a reflexão sobre o conhecimento.

## Aprendizagem Significativa

Conforme Ausubel *et al.* (1980), a aprendizagem significativa se divide em duas abordagens: a aprendizagem por recepção e a aprendizagem por descoberta. Ambas podem ser mecânicas ou significativas, dependendo da integração dos conceitos na estrutura cognitiva do aluno (MOREIRA, 2021). Na abordagem da aprendizagem por descoberta, o aluno é estimulado a identificar princípios e relações entre conceitos, com base em seu conhecimento prévio. Esse método se torna significativo quando o novo conteúdo se encaixa nos conceitos já existentes na mente do aluno, resultando na formação de novos conceitos. Já na aprendizagem por recepção, o aluno recebe informações prontas, como em uma aula expositiva, e é desafiado a relacioná-las ativamente com seus conhecimentos prévios, promovendo uma reorganização dos conceitos (RODRIGUES; MOTA; SOUZA, 2019; PELIZZARI *et al.*, 2001; MARTINS; FREITAS; VASCONCELOS, 2021).

No sistema educacional brasileiro, a aprendizagem por recepção é amplamente adotada (TEIXEIRA; ALMEIDA; CASSUCE, 2022). No entanto, isso não garante a aprendizagem significativa, pois o aluno deve conectar as novas informações aos seus conhecimentos prévios para promover uma reestruturação cognitiva. O professor pode acessar esses conhecimentos prévios por meio de organizadores prévios (MARTINS; FREITAS; VASCONCELOS, 2021). A aprendizagem se torna significativa quando o novo conteúdo se integra às estruturas de conhecimento do aluno, conferindo-lhe relevância em relação ao que ele já sabe. Caso contrário, torna-se mecânica, com o novo conteúdo isolado ou associado de forma arbitrária na estrutura cognitiva.

Para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa, é fundamental levar em conta um processo de transformação do conhecimento, indo além da simples observação de comportamentos externos. Ela requer duas condições essenciais: a predisposição do aluno em aprender e a potencial significância do conteúdo, tanto logicamente quanto psicologicamente (FEITOSA *et al.*, 2020; OLIVEIRA, CAVALCANTE, AQUINO, 2023). A significância lógica depende da natureza intrínseca do conteúdo, enquanto a psicológica é uma experiência pessoal individual (DAMASCENO JUNIOR; CAVALCANTE, 2021; MARTINS; FREITAS; VASCONCELOS, 2021).

Nessa perspectiva, no ensino formal, a interação não arbitrária e não literal entre novos e antigos conhecimentos, conhecida como subsunçores, é uma estratégia promissora. Por meio de interações sequenciais, um subsunçor específico enriquece gradualmente seus significados, servindo de base sólida para novas aprendizagens significativas. A Teoria de Ausubel enfatiza que o conhecimento prévio do aluno é crucial, sendo o ponto de partida fundamental (AGRA *et al.*, 2019).

As proposições de Ausubel partem do pressuposto de que os indivíduos têm uma organização cognitiva interna baseada em conhecimentos conceituais. A complexidade dessa organização depende



das relações entre os conceitos, não do número de conceitos em si. Essas relações são hierárquicas, com a estrutura cognitiva formando uma rede de conceitos organizados com base em abstração e generalização. A aprendizagem escolar é a assimilação desses conhecimentos conceituais à estrutura cognitiva existente, selecionados socialmente como relevantes e organizados em áreas de conhecimento específicas (DISTLER, 2015).

Em relação ao ensino de Física, Moreira (2021) destaca a importância de priorizar o entendimento dos conceitos físicos, em detrimento da mera memorização de fórmulas. Afinal, as fórmulas são uma representação encapsulada desses conceitos, e decorá-las sem compreender os conceitos subjacentes resulta em uma aprendizagem carente de sentido. A aprendizagem eficaz ocorre quando os novos conhecimentos são relevantes e fazem sentido para o aluno. Para promover a aprendizagem significativa, é essencial apresentar os novos conceitos progressivamente, começando com situações cotidianas do aluno. Nesse contexto, a cartilha assume um papel relevante como recurso didático potencialmente significativo, identificando os subsunçores dos estudantes com base na teoria da aprendizagem significativa.

## BNCC e Ensino de Nanociência e Nanotecnologia

De acordo com a análise de Presotto e Costa (2023), a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) enfatiza e promove a interdisciplinaridade como um elemento fundamental na construção do conhecimento. Enquanto que, Oliveira, Mello, Soares (2023), indicam que a mera enumeração de competências e habilidades em campos do conhecimento, como ocorreu na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, revela-se inadequada para instigar ou sustentar um processo pedagógico interdisciplinar focado na integração dos conhecimentos fundamentais necessários para uma compreensão mais ampla e complexa do mundo e da nossa própria existência.

Nessa perspectiva, o ensino de N&N pode ser alinhado à estrutura da BNCC, uma vez que ambos convergem do ponto de vista da interdisciplinaridade (BRASIL, 2018; MANOU *et al.* 2022). Nesse contexto, pode-se afirmar que a BNCC, estimula a inclusão da N&N no currículo da educação básica. Nessa perspectiva, o trabalho de Pistoia, Ellawanger e Fagan, (2017) sugere uma abordagem para implementar efetivamente essa temática por meio de projetos interdisciplinares, que possibilitam a integração de diversas áreas do conhecimento.

As orientações da BNCC estimulam a introdução da N&N no ensino fundamental e médio, uma vez que as aplicações relacionadas a essa área do conhecimento já fazem parte do nosso cotidiano e requerem uma compreensão aprofundada à luz das ciências (BRASIL, 2018; SOUSA SOBRINHO, 2023). Nesse sentido, o processo de Alfabetização Científica, delineado neste documento, emerge como um caminho para habilitar os estudantes a lidarem com os aspectos tecnológicos que os cercam. Adicionalmente, ao desenvolver um pensamento crítico e argumentativo, os alunos têm a capacidade de compreender tanto os aspectos positivos quanto negativos relacionados às ciências, permitindo-lhes tomar decisões informadas em seu contexto.



A BNCC compreende um conjunto de habilidades e competências que são aprimoradas através do conhecimento científico. A competência 1, específica da área de Ciências da Natureza, por exemplo, enfatiza a mobilização de conhecimentos voltados para a análise dos fenômenos naturais e dos processos tecnológicos na proposição de ações coletivas e individuais que possam melhorar processos produtivos e minimizar impactos socioambientais, contribuindo dessa forma, para o desenvolvimento local, regional e global (BRASIL, 2018).

Nesse contexto, a habilidade EM13CNT104 estimula a aplicação do conhecimento científico para avaliar as potencialidades, benefícios e riscos associados ao uso de diferentes materiais e/ou tecnologias, assim como a tomada de decisões responsáveis e consistentes diante dos diversos desafios contemporâneos. Esse tópico se torna especialmente relevante quando se trata de nanomateriais, uma vez que esses materiais podem apresentar maior toxicidade em escala nanométrica, devido às suas propriedades emergentes. (BRASIL, 2018).

A competência específica 3, por sua vez, destaca a utilização do conhecimento científico e tecnológico, visando o desenvolvimento de capacidades que permitam aos estudantes discernir informações para analisar situações-problema e suas implicações no mundo de forma responsável e ética. Nessa perspectiva, a habilidade EM13CNT303 destaca a importância da interpretação de textos relacionados às Ciências da Natureza, com foco na seleção de fontes confiáveis de informação, um aspecto crucial ao lidar com tópicos complexos como a N&N (BRASIL, 2018).

#### 2.4 Sequência didática

A fundamentação teórico-metodológica da sequência didática proposta neste trabalho está ancorada na teoria da aprendizagem significativa. Partindo do princípio filosófico de que o ensino ocorre somente quando o aprendiz está disposto a aprender e que o recurso didático a ser utilizado seja potencialmente significativo em relação à realidade dos alunos. Além disso, os passos da sequência didática devem facilitar a construção do conhecimento, abrangendo tanto aspectos declarativos quanto procedimentais (MOREIRA, 2011).

A sequência deve ser planejada para assegurar uma progressão lógica e significativa no acúmulo de conhecimento, levando em consideração as características dos alunos e as competências que precisam ser cultivadas. Este processo envolve a seleção de conteúdos pertinentes, a formulação de estratégias de ensino, a escolha de recursos e materiais apropriados, bem como a avaliação contínua do progresso da aprendizagem. O objetivo primordial da sequência didática é promover a participação ativa dos alunos, fomentando o pensamento crítico, a reflexão e a construção efetiva do saber (FEITOSA *et al.*, 2020).

Nessa perspectiva, Ugalde e Roweder (2020) indicam que ao planejar uma sequência didática, é crucial considerar os diálogos e interações entre professor e aluno, bem como entre os próprios alunos. Deve-se observar como os temas ou conteúdos influenciam essas relações, assim como o papel de todos os envolvidos no desenvolvimento das atividades, na estruturação dos conteúdos, na gestão do tempo e espaço, na seleção de recursos didáticos e na avaliação. Cada aspecto desse planejamento deve ser minuciosamente organizado para garantir o êxito na execução das atividades.



A sequência didática pode ser dividida em diversas etapas, como a sensibilização, a problematização, a construção do conhecimento, a aplicação prática e a avaliação. Cada uma dessas etapas desempenha um papel específico no processo de ensino e aprendizagem, contribuindo para o desenvolvimento das habilidades e competências dos estudantes. Além disso, a sequência didática oferece uma estrutura organizada e transparente para as atividades em sala de aula, simplificando o planejamento e a execução das lições. Ela proporciona ao educador uma visão abrangente do processo de ensino e aprendizagem, permitindo adaptações e ajustes conforme necessário (UGALDE; ROWEDER, 2020; FERREIRA; SILVA FILHO, 2021; SILVA).

Feitosa *et al.* (2020) destacam que a sequência de ensino não é uma garantia absoluta de sucesso na aprendizagem. É essencial que os professores estejam conscientes da realidade da instituição e prontos para fazer mudanças que melhorem o processo educativo. Essa sequência evolui com um planejamento contínuo e ajustes específicos para atender às necessidades da turma e da escola. O diálogo constante com a comunidade escolar é fundamental para criar um ambiente favorável ao desenvolvimento de recursos e metodologias inovadoras, promovendo a criatividade no ensino e aprendizagem.

Em resumo, a sequência didática representa uma abordagem pedagógica que almeja promover o processo de ensino aprendizagem dos alunos, através de um conjunto estruturado de atividades que estimulam a reflexão, a construção do conhecimento e a avaliação. Essa abordagem se baseia em princípios pedagógicos sólidos e oferece uma orientação clara para o trabalho em sala de aula (DOS SANTOS; DOS SANTOS, 2020; AQUINO; LAVOR, 2020).”

## Metodologia

A metodologia deste trabalho consistiu em uma abordagem qualitativa de finalidade exploratória. Conforme apontado por Silva, Oliveira e Brito (2021), a pesquisa qualitativa concentra-se na busca de uma compreensão minuciosa dos significados e das características inerentes ao objeto de estudo. Isso possibilita uma imersão na complexidade do fenômeno sob investigação. Enquanto que, a pesquisa exploratória desempenha um papel na estruturação e organização na fase inicial de um trabalho. Ela simplifica a aquisição de informações, define os parâmetros dos dados, orienta a abordagem do texto, formula hipóteses, estabelece metas e concentra-se precisamente no tema da pesquisa (GERHARDT; SILVEIR, 2009).

Segundo Batista, Schiavon e Duminelli (2021), o processo de ensino adotado na sequência didática deve levar em consideração o conhecimento prévio dos alunos, originado de suas experiências cotidianas, e incentiva a interação entre eles. De forma que, essa abordagem valoriza o desenvolvimento de conteúdos conceituais, competências e habilidades de raciocínio, bem como a formação de valores e atitudes. Consequentemente, contribui para o aprimoramento das capacidades de argumentação, questionamento, tomada de decisões, interpretação, raciocínio lógico e trabalho em equipe.



A pesquisa contou com a participação de 58 alunos do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública no estado do Ceará, que foram os sujeitos investigados durante o estudo. Para o ensino de N&N, foram realizadas atividades que seguiram um processo composto por quatro etapas distintas, inserido em uma sequência didática (SD). Essa SD foi estruturada em quatro módulos, totalizando quatro aulas de 50 min, fundamentando-se nas teorias de Zabala (1998). Os conteúdos foram agrupados em módulos temáticos com o intuito de estimular um diálogo interdisciplinar e aprofundar a compreensão dos conceitos relacionados à N&N.

Os módulos propostos na sequência didática foram organizados nas seguintes etapas:

- i. Aplicação de um questionário pré-teste contendo questões relacionadas aos conceitos e aplicações da N&N, antes de qualquer exposição ao conteúdo.
- ii. Leitura e discussão da cartilha “Compreendendo o Mundo Nano: O Que é Nanociência e Nanotecnologia?”, mostrada na Figura 1. A narrativa da cartilha envolve um diálogo entre os personagens Nâna, Ziggy, Zezinho, Tech e o Professor Pimenta, explorando conceitos, aplicações, distinções entre escalas, a relação entre a redução das dimensões dos materiais e propriedades características, como resistência mecânica e condutividade elétrica. Desenvolvida no formato de quadrinhos para popularizar o assunto nas escolas, a cartilha almeja motivar eficazmente o interesse dos alunos, apresentando de forma abrangente conceitos essenciais, aplicações e implicações da N&N (AQUINO, 2016).

Figura 1 – Cartilha “Compreendendo o mundo nano: o que é Nanociência e Nanotecnologia?”



Fonte: Aquino (2016)

- iii. Na terceira etapa, após a leitura da cartilha, os alunos assistiram os vídeos “Nanotecnologia: tudo sobre” e “Tecnologias do futuro: advento da Nanotecnologia”, que exploravam as



aplicações da nanotecnologia e suas perspectivas futuras, incluindo avanços em processadores, cosméticos, tratamento de água, e tratamentos médicos.

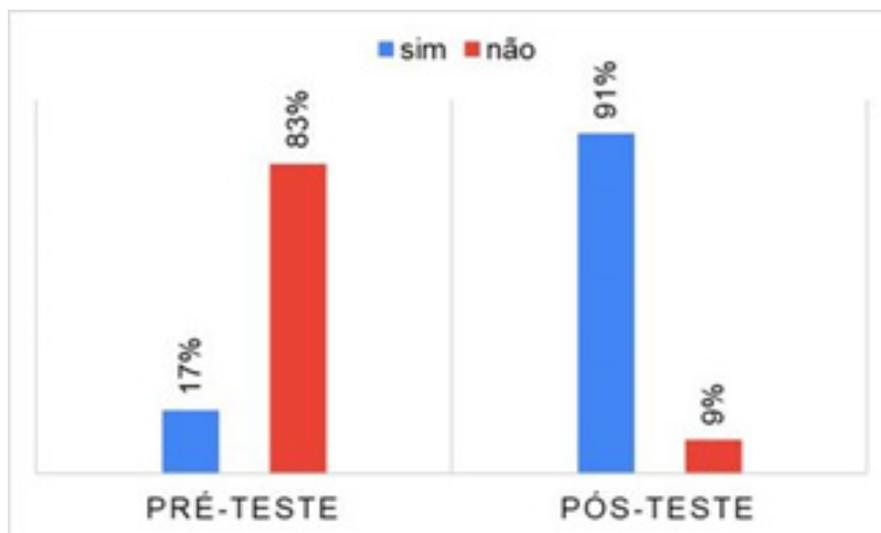
- iv. Aplicação do questionário pós-teste, constituído pelas cinco questões do pré-teste e uma pergunta adicional sobre a análise da cartilha. O objetivo era avaliar as implicações do material no processo de ensino e aprendizagem.

A coleta de dados foi realizada por meio dos dois questionários, o primeiro composto por cinco perguntas com duas alternativas (positiva ou negativa), com espaço para comentários. Enquanto que o segundo questionário foi aplicado ao final da sequência didática, contendo seis perguntas, com o propósito de avaliar o impacto do material no processo de ensino e aprendizagem.

## Resultados e discussões

O Gráfico 1 apresenta a representação do percentual referente à primeira pergunta, que investigou o conhecimento dos participantes sobre o significado da palavra “nano”. Os dados revelam que, no pré-teste, apenas 17% dos estudantes afirmaram estar familiarizados com o significado da palavra. No entanto, após a leitura da cartilha no pós-teste, observou-se um notável aumento, com 91% dos entrevistados declarando compreender o seu significado. Alguns participantes adicionaram percepções, associando “nano” a algo extremamente pequeno e de origem grega, fazendo conexões com a palavra “anão” e outras interpretações.

Gráfico 1 - Percentual de respostas sobre o conhecimento do significado da palavra nano.



Fonte: Autores (2023)

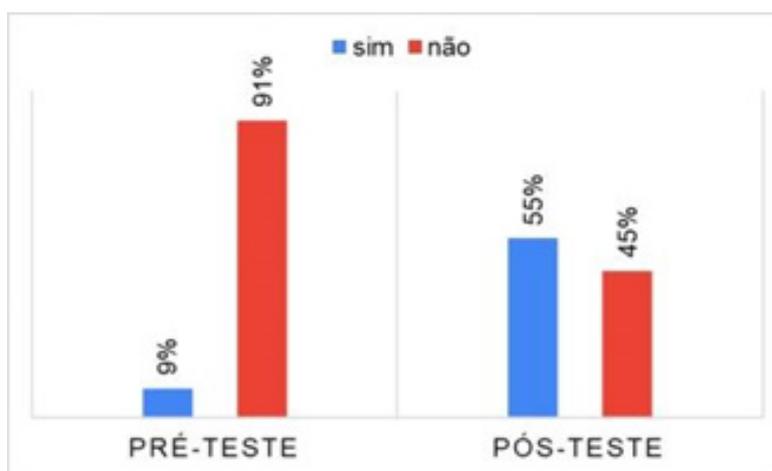
O conhecimento prévio do estudante, segundo Botari et al. (2022), é crucial para a assimilação eficaz de conceitos científicos, influenciando a estrutura cognitiva. Essa estrutura, baseada em proposições e suposições, gera relações inéditas que interagem sinergicamente com um conhecimento específico, resultando em novos significados, chamados produtos de aprendizagem significativa. De acordo com



Ferreira e Silva Filho (2021), a reformulação de conceitos anteriores, conhecidos como subsunçores, em uma nova estrutura cognitiva, modifica o conhecimento subsequente, criando uma nova cognição organizada hierarquicamente.

Na segunda pergunta, buscou-se entender como os estudantes percebiam a distinção entre N&N. Antes da análise da cartilha, somente 9% dos alunos conseguiam diferenciar, mas após a leitura, esse número aumentou para 55%, conforme mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Percentual de alunos que afirmaram conhecer as diferenças entre N&N.



Fonte: Autores (2023).

Segundo Neves *et al.* (2017), na aprendizagem significativa, o discente interage ativamente com a cultura sistematizada, desempenhando o papel central no processo de construção do conhecimento. Nesse sentido, o ensino de novos conteúdos deve estimular o aluno a enfrentar desafios e a expandir seu domínio de conhecimento por meio de novas descobertas. Para que a aprendizagem melhore de forma significativa, é necessário manter um trabalho contínuo, onde os novos conteúdos sejam integrados de forma coerente com a estrutura cognitiva já estabelecida pelo aluno.

Nessa perspectiva, a cartilha foi organizada para ampliar continuamente o conhecimento a cada página, considerando a avaliação prévia do conhecimento dos estudantes como um princípio fundamental, conforme preconizado pela teoria da aprendizagem significativa. Isso estabeleceu uma ligação sólida entre os novos conteúdos e a experiência prévia de cada aluno. Após a leitura da cartilha e a visualização dos vídeos, foi necessário criar um ambiente para a discussão entre os estudantes, incentivando o progresso com base em seus conhecimentos pré-existentes e estimulando a identificação de novas necessidades e desafios individuais.

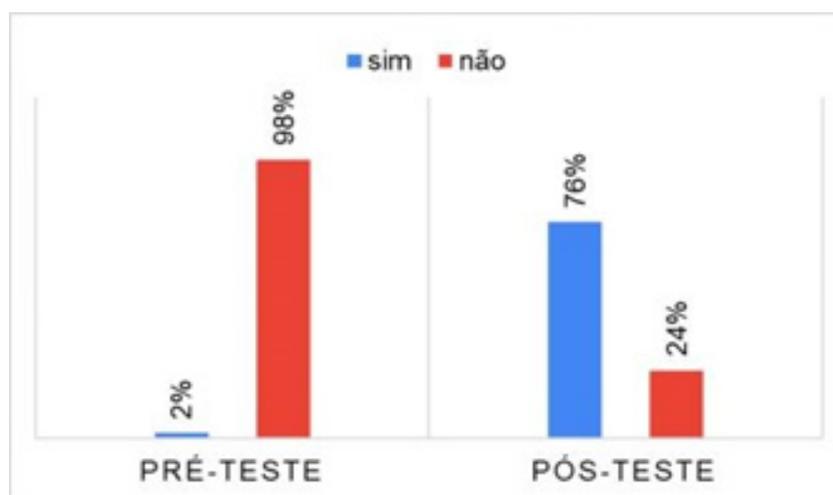
A terceira indagação investigou o nível de conhecimento dos estudantes sobre os benefícios e os riscos associados à nanotecnologia na sociedade. Conforme ilustrado no Gráfico 3, antes da exposição à cartilha, apenas 2% dos participantes afirmaram possuir conhecimento a respeito, enquanto que, após a leitura, esse percentual aumentou significativamente para 76%. Os estudantes mencionaram, como benefícios, a aplicação da nanotecnologia na fabricação de dispositivos eletrônicos, celulares, computadores,



medicamentos e cosméticos. Além disso, identificaram a poluição do ar e a contaminação da água como fatores de riscos associados a essa tecnologia.

Segundo Moreira (2021), a premissa fundamental reside na necessidade de que, para a aquisição significativa de conhecimento, o estudante deva expressar a disposição de estabelecer conexões substanciais e não arbitrárias entre o novo material, que potencialmente detém significado, e sua estrutura cognitiva, devendo apresentar uma intencionalidade clara. Vale ressaltar que, essa predisposição para a aprendizagem transcende a simples motivação, estando intrinsecamente relacionada ao interesse.

Gráfico 3 - Conhecimento dos alunos sobre os benefícios e os malefícios da Nanotecnologia.



Fonte: Autores (2023)

Neste contexto, a cartilha pode ser um recurso motivador devido à sua linguagem baseada em histórias em quadrinhos. Conforme evidenciado pelos resultados dos gráficos apresentados, a aprendizagem sobre N&N experimentou uma melhoria significativa, indicando que o recurso didático pode ser descrito como potencialmente significativo, como descrito na teoria de Ausubel.

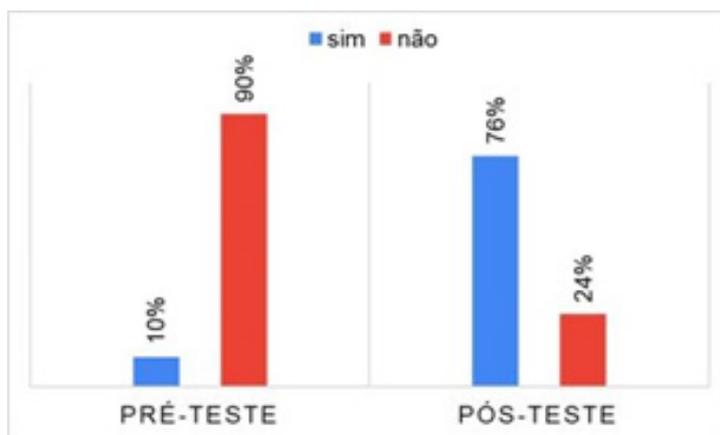
Moreira (2021) destaca que a aquisição significativa de conhecimento exige que os estudantes estabeleçam conexões substanciais entre o novo material e sua estrutura cognitiva, com uma intencionalidade clara. Essa disposição vai além da simples motivação e está intrinsecamente ligada ao interesse. No contexto do estudo, a cartilha em formato de HQ, através de uma narrativa visual, pode ser um recurso motivador. Os resultados dos gráficos indicam uma melhoria significativa na aprendizagem sobre N&N, sugerindo que o recurso didático é potencialmente significativo, conforme a teoria de Ausubel.

Essa constatação corrobora com a afirmativa de Ferreira et al. (2020) sobre a avaliação de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. O autor destaca que a avaliação se desenrola de maneira contínua durante as aulas, contemplando uma abordagem abrangente dos elementos que apontam para a presença de aprendizado com significado. Essa avaliação não se caracteriza pela precisão, delimitação ou assertividade, mas sim por uma abordagem holística, sutil e transitória.



A quarta pergunta, que avaliou o grau de familiaridade dos estudantes com as aplicações práticas da nanotecnologia, questionou se eles haviam adquirido produtos com base nessa tecnologia anteriormente. Os resultados do Gráfico 4 indicam que, inicialmente, apenas 10% dos participantes responderam positivamente. No entanto, após a leitura da cartilha e a visualização dos vídeos, esse percentual teve um aumento notável, atingindo 76%.

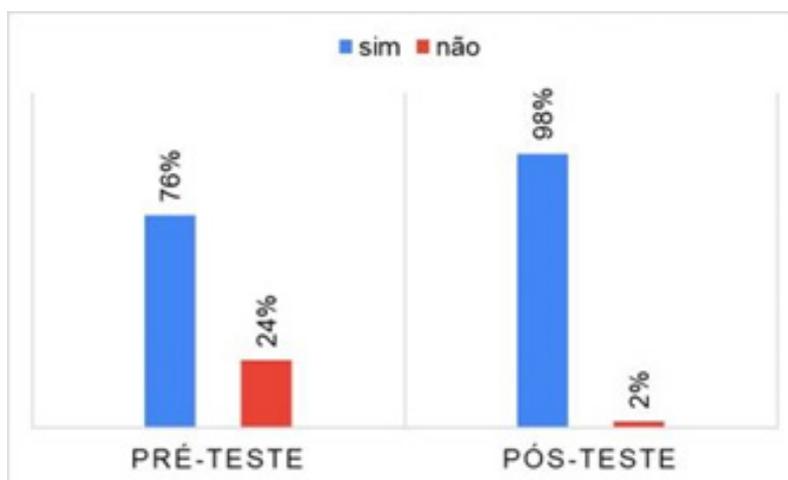
Gráfico 4 - Percentual de alunos que já compraram produtos nanotecnológicos



Fonte: Autores (2023)

A quinta pergunta avaliou o interesse dos alunos em relação à abordagem do tema N&N nos livros didáticos e na sala de aula. Em ambas as pesquisas, a maioria dos alunos demonstrou curiosidade em estudar esse assunto. O Gráfico 5 revela que, no questionário pré-teste, 76% dos participantes optaram por afirmar seu interesse, enquanto que no pós-teste, 98% manifestaram interesse em estudar o tema durante as aulas.

Gráfico 5 – Interesse dos estudantes em estudar N&N a partir de livros didáticos.



Fonte: Autores (2023)

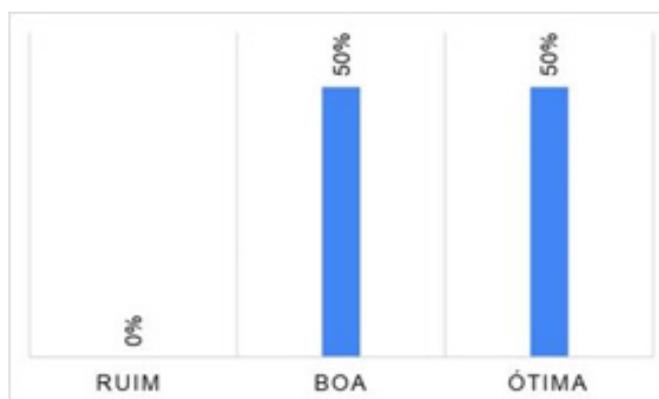


Tomkelski, Scremin e Fagan (2019) conduziram uma pesquisa sobre a integração do tema N&N no ensino básico e superior, utilizando um questionário respondido por 48 professores. Ao questionar os professores sobre a inclusão de tópicos de N&N em suas atividades em sala de aula, 58,3% afirmaram nunca ter lecionado esse conteúdo. Os autores argumentam que esses dados indicam restrições impostas por algumas instituições de ensino, o que limita a inclusão de tópicos de N&N no ensino básico. Mesmo que os professores estejam dispostos a incorporar esses temas em suas práticas, eles enfrentam limitações institucionais que impedem tal integração.

Tonet e Leonel (2019) realizaram uma revisão bibliográfica sobre os desafios no ensino de Nanociência e Nanotecnologia (N&N) na área da Física. A análise dos estudos evidenciou uma situação preocupante, destacando a ausência de abordagem desse tema na formação inicial de professores, defasagem nos currículos do ensino médio e superior, e a carência de materiais didáticos de qualidade que abordem de maneira abrangente seus aspectos positivos e negativos, incluindo questões sociais, éticas, políticas e econômicas. Isso constitui um obstáculo significativo ao ensino de N&N no Brasil, indicando um percurso extenso e diversos desafios a serem superados para a ampla incorporação desse tema nas escolas.

A última pergunta do questionário, feita após a leitura da cartilha, indagou acerca da avaliação dos estudantes em relação ao produto educacional. De acordo com o gráfico 6, é possível verificar que a cartilha recebeu uma avaliação positiva por parte dos alunos. Todos os alunos participantes afirmaram avaliá-la como “ótima” (50%) ou “boa” (50%). Não houve registro de qualquer rejeição, pelo contrário, os estudantes contribuíram e participaram ativamente do processo de ensino aprendizagem.

Gráfico 6 - Avaliação dos estudantes em relação a qualidade da cartilha.



Fonte: Autores (2023)

Os resultados da atividade mostraram que os estudantes se envolveram efetivamente, sendo estimulados a estabelecer conexões entre o conteúdo, a história em quadrinhos da cartilha e sua vida cotidiana. A utilização da história em quadrinhos para contextualizar o tema N&N no ensino médio promoveu o desenvolvimento da capacidade imaginativa e crítica dos alunos.



## Considerações Finais

O presente estudo propôs-se a explorar como a integração dos conceitos de Nanociência e Nanotecnologia (N&N) no ensino médio pode promover a aprendizagem significativa entre os estudantes. Para alcançar esse objetivo, foram investigadas suas percepções, compreensão e envolvimento com esses campos interdisciplinares, utilizando uma cartilha em formato de HQ intitulada “Compreendendo o Mundo Nano: O que é Nanociência e Nanotecnologia?”. Constatou-se que o alcance desse propósito foi satisfatório, evidenciando que o uso desse recurso facilitou a compreensão dos alunos sobre a escala nano, a relação entre área e volume, a Nanotecnologia, assim como suas aplicações e implicações no desenvolvimento de novas tecnologias.

Ficou também evidente que o tema Nanociência e Nanotecnologia, embora debatido na comunidade científica, ainda carece de uma abordagem mais ampla no ensino médio. É necessário implementar mecanismos eficazes para introduzir esses conceitos de forma sistemática na sala de aula, visando formar cidadãos conscientes dos avanços tecnológicos que impactam diretamente em nossa vida cotidiana. Os resultados do pós-teste indicaram que a cartilha desempenhou um papel crucial como recurso didático, configurando-se como uma ferramenta valiosa na disseminação desse tema, sugerindo seu potencial uso por alunos e professores no contexto escolar.

Por fim, acredita-se que a inserção de tópicos de N&N no currículo educacional, aliada à promoção da aprendizagem significativa, apresenta potenciais benefícios para o desenvolvimento dos estudantes. A compreensão das propriedades e aplicações de materiais em escala nanométrica não apenas amplia o repertório científico dos alunos, mas também estimula a formação de cidadãos críticos e conscientes das implicações éticas e sociais das novas tecnologias. Este estudo destaca a importância de abordagens inovadoras no ensino, como o uso de cartilhas em quadrinhos, para tornar temas complexos mais acessíveis e envolventes.

## Referências

AGRA, G. *et al.* Analysis of the concept of Meaningful Learning in light of the Ausubel's Theory. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 72, n. 1, p. 248–255, fev. 2019.

AQUINO, A. A. de; LAVOR, O. P. Ensino de instalações elétricas residenciais: uma sequência didática a partir de uma aplicação mobile. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 125–146, 2020.

AQUINO, A. A. **Nanociência e Nanotecnologia no Ensino Médio: Pesquisa e Reflexão**. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual do Ceará. Quixadá, 116 p.

AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Psicologia Educacional**. Trad. De Eva Nick e outros. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.



BATISTA, M. C.; SCHIAVON, G. J.; DUMINELLI, G. P. F. A robótica aplicada ao ensino de resistores não lineares por meio de uma sequência didática. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, Medianeira**, v. 12, n. 29, p. 23 – 40, jan/abr, 2021.

BAIG, N.; KAMMAKAKAM, I.; FALATH, W. Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. **Materials advances**, v. 2, n. 6, p. 1821–1871, 2021.

BAYDA, S. *et al.* **The History of Nanoscience and Nanotechnology**: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules*, v. 25, n. 112, p. 1-15, 2020.

BOTARI, A.; BOTARI, J. C.; BRITO, C. D. R. AND CIAMPI, M. M. “Educational Tools and Interventional Analysis of Meaningful Learning: Case Studies Applied to Teaching Acoustic Physics in the Discipline of Environmental Comfort,” in IEEE **Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje**, vol. 17, no. 2, pp. 115-124, May 2022, doi: 10.1109/RITA.2022.3166860.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

CARVALHO, F. D. R.; WATANABE, G. A Construção do Conhecimento Científico Escolar: Hipóteses de Transição Identificadas a partir das Ideias dos(as) Alunos(as). **Educação em Revista**, v. 35, p. 1-26, 2019.

CAVALCANTE, W. DE O., NOVAIS, A. DE L. F., & FERREIRA, F. C. L. (2019). Abordagem lúdica das questões de física: história em quadrinhos sobre cinemática. **Scientia Plena**, 15(7).

DAMASCENO JÚNIOR, J. A.; CAVALCANTE ROMEU, M. Contribuições da neurociência e da aprendizagem significativa para o ensino de física e de conceitos básicos de astronomia: algumas aproximações preliminares. **Revista Prática Docente**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. e033, 2021.

DISTLER, Rafaela Regina. Contribuições de David Ausubel para a intervenção psicopedagógica. **Rev. psicopedag.**, São Paulo, v. 32, n. 98, p. 191-199, 2015.

DOS SANTOS, P. J. S.; DOS SANTOS, T. F. M. Analysis of a didactic sequence using educational robotics to teach graphs in kinematics. **Physics Education**, v. 56, n. 1, p. 015015, 5 dez. 2020.

FEITOSA, S. DOS S. *et al.* Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 662–694, 12 ago. 2020.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. da. Ensino de física: fundamentos, pesquisas e novas tendências. **Plurais - Revista Multidisciplinar**, Salvador, v. 6, n. 2, p. 9–19, 2021. DOI: 10.29378/plurais.2447-9373.2021.v6.n1.12199.

FERREIRA, M. *et al.* Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20200057, 15 jun. 2020. GERHARDT, T. E.; SILVEIR, D. T. **Métodos de pesquisa**. [s.l.] UFRGS, 2009.



- FIGUEIRÊDO, A. M. T. A *et al.* Experimentação Contextualizada sobre Equilíbrio Químico para Turma de Ensino Médio. **International Journal Education and Teaching** (PDVL), v.1, n. 1, p. 91-109, 2018.
- HA, V. AND LAJIUM, D. A. (2022) “Scoping Review: Appropriate Big Ideas of Nanoscience and Nanotechnology to Teach in Chemistry for Secondary School”, **Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)**, 7(12), p. e002016.
- JAPIASSU, Hilton. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. [s.l.: s.n.], 1976.
- MANOU, L. *et al.* What does “Nanoscience –Nanotechnology” mean to primary school teachers?. **Int J of Sci and Math Educ** 20, 1269–1290 (2022).
- MARTINS, M. G.; FREITAS, G. F. G., & VASCONCELOS, P. H. M. (2021). A aprendizagem significativa de Ausubel e a relação com materiais alternativos na disciplina de geometria molecular. **Educação Profissional E Tecnológica Em Revista**, 9(01).
- MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011.
- MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, n. suppl 1, 2021.
- NEVES, S. *et al.* Aprendizagem significativa por descoberta: uma reflexão da problematização sob a abordagem de Ausubel. **CIAIQ** 2017, v. 1, 2 jul. 2017.
- OLIVEIRA, D. F. de .; MELLO, I. C. de; SOARES, E. C. . Ciências da natureza na base nacional comum curricular do ensino médio: uma análise dos pressupostos interdisciplinares. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. e23044, 2023.
- OLIVEIRA, J. A. B. DE; CAVALCANTE, P. S.; AQUINO, K. A. DA S. MAPAS CONCEITUAIS NA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM DECORRENTE DE SEQUÊNCIAS DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC** , v. 13, n. 1, p. 61-77, 28 abr. 2023.
- PELIZZARI, A. *et al.* Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Rev. PEC**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 37-42, jul. 2001-jul.2002. Disponível em: <https://goo.gl/geA25C>. Acesso em 14 set. 2023.
- PISTOIA, R. P.; ELLAWANGER, A. L. FAGAN, S.B. O Ensino de Nanociências via Hidrofobicidade por meio de Módulo Didático Pedagógico. In: XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências 17; 2017, Florianópolis/SC. Anais Florianópolis/SC, 2017.
- PRESOTTO, K. S.; COSTA, F. S. A interdisciplinaridade na formação de professores de matemática do ensino médio sob a luz da BNCC. **Contraponto**, v. 4, n. 6, p. 44–65, 17 jul. 2023.
- RODRIGUES, D. P; MOTA, A. T.; SOUZA, P. V. S. Circuitos Elétricos com Materiais de Baixo Custo: uma proposta pautada na aprendizagem significativa de Ausubel. **Revista do Professor de**



**Física**, v. 3, n. 1, p. 133-154, Brasília, 2019.

SANTOS, C. *et al.* Síntese e caracterização de pontos quânticos ambientalmente amigáveis, um meio simples de exemplificar e explorar aspectos da nanociência e nanotecnologia em cursos de graduação.

**Química Nova**, 2020.

SILVA, A. X. da; CUSATI, I. C.; GUERRA, M. G. G. V. Interdisciplinaridade e transdisciplinaridade: Dos conhecimentos e suas histórias. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, v. 13, n. 3, p. 979–996, 2018.

SILVA, B. A.; OLIVEIRA, G. S.; BRITO, A. P. G. Análise de conteúdo: uma perspectiva metodológica qualitativa no âmbito da pesquisa em educação. **Cadernos da Fucamp**, v.20, n.44, p.52-66/2021.

SILVA, P. R. DA, & LOPES, J. G. S. (2019). Investigando a Mobilização de Saberes Docentes em Propostas de Ensino Sobre Nanociência e Nanotecnologia. **Revista Debates Em Ensino De Química**, 5(2), 151–164.

SOBRINHO, A. S. Contextualização das propriedades físicas dos materiais cerâmicos no ensino médio: uma abordagem associada à BNCC . Somma: **Revista Científica do Instituto Federal do Piauí**, [S. l.], v. 7, p. 1–16, 2022.

TEIXEIRA, O. H., ALMEIDA, L. V., & CASSUCE, F. C. DA C. (2022). Percepções docentes e aprendizagem no ensino médio brasileiro: qual a relação?. **Estudos Em Avaliação Educacional**, 33, e07473.

TOMKELSKI, M. L.;SCREMIN, G; FAGAN, S. B. Ensino de Nanociência e Nanotecnologia: perspectivas manifestadas por professores da educação básica e superior. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 25, n. 3, p. 665-683, 2019.

TONET, M. D.; LEONEL, A. A. 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, 28 ago. 2019.

UGALDE, M. C. P. ; ROWEDER, C. Sequência didática: uma proposta metodológica de ensino-aprendizagem. **Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, Brasil, v. 6, n. ed. especial, p. e99220, 2020.

YU, H.-P.; JEN, E. Integrating nanotechnology in the science curriculum for elementary high-ability students in Taiwan: Evidenced-based lessons. **Roeper review**, v. 42, n. 1, p. 38–48, 2020.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1998.