

Recebido: 15/05/2026 | Aceito: 09/07/2026

DOI: <https://doi.org/10.5380/rbpef.v2.104642>

DIAMAGNETISMO E MODELAGEM CIENTÍFICA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA: PROPOSTA E ANÁLISE DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Ian Lima Santana [ianlimasantana@gmail.com]

*Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/ Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Vitória da Conquista – Bahia - Brasil*

Luizdarcy de Matos Castro [luizdarcy.castro@uesb.edu.br]

*Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/ Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Vitória da Conquista – Bahia - Brasil*

Resumo

Este artigo apresenta uma proposta de sequência didática voltada ao ensino do diamagnetismo da matéria na formação inicial de professores de Física. Fundamenta-se na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, nos Três Momentos Pedagógicos e na perspectiva epistemológica da modelagem científica no ensino de Física. Busca responder à seguinte questão: como uma sequência didática fundamentada nesses referenciais, orientada pela perspectiva da modelagem científica, pode contribuir para a compreensão conceitual do diamagnetismo na formação inicial de professores de Física? O estudo caracteriza-se como pesquisa qualitativa, de natureza teórico-propositiva, fundamentada em levantamento do estado do conhecimento. Os resultados evidenciam a escassez de pesquisas que articulem o ensino do diamagnetismo, a modelagem científica e a formação inicial de professores de Física. Em resposta a essa lacuna, apresenta-se uma sequência didática com potencial para favorecer a aprendizagem significativa e a compreensão conceitual do diamagnetismo, ao integrar a problematização, construção de modelos científicos e sistematização conceitual.

Palavras-Chave: Diamagnetismo. Modelagem Científica. Aprendizagem Significativa. Formação de Professores. Ensino de Física.

Diamagnetism and Scientific Modeling in the Training of Physics Teachers: Proposal and Analysis of a Didactic Sequence

Abstract

This article presents a proposed teaching sequence for introducing the diamagnetism of matter in the initial education of physics teachers. The proposal is grounded in the Potentially Meaningful Teaching Unit, the Three Pedagogical Moments, and the epistemological perspective of scientific modeling in physics education. It addresses the question of how a teaching sequence based on these frameworks can foster conceptual understanding of diamagnetism through scientific modeling. This qualitative, theoretical-propositional study is based on a review of the state of knowledge. The findings reveal a lack of research integrating diamagnetism, scientific modeling, and initial physics teacher education. To address this gap, the article proposes a teaching sequence that combines problematization, scientific model construction, and conceptual systematization, aiming to promote meaningful learning and strengthen conceptual understanding of diamagnetism in the context of initial teacher education.

Keywords: Diamagnetism. Scientific Modeling. Meaningful Learning. Teacher Training. Physics Education.

Diamagnetismo y Modelización Científica en la Formación de Profesores de Física: Propuesta y Análisis de una Secuencia Didáctica

Resumen

Este artículo presenta una propuesta de secuencia didáctica para la enseñanza del diamagnetismo de la materia en la formación inicial del profesorado de Física. La propuesta se fundamenta en la Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa, los Tres Momentos Pedagógicos y la perspectiva epistemológica de la modelización científica en la enseñanza de la Física. El estudio busca responder cómo una secuencia didáctica basada en estos referentes puede contribuir a la comprensión conceptual del diamagnetismo. Se trata de una investigación cualitativa, de carácter teórico-propositivo, sustentada en una revisión del estado del conocimiento. Los resultados evidencian la escasez de estudios que articulen la enseñanza del diamagnetismo, la modelización científica y la formación inicial del profesorado de Física. Como respuesta, se propone una secuencia didáctica que integra problematización, construcción de modelos científicos y sistematización conceptual, favoreciendo el aprendizaje significativo y el desarrollo de una comprensión conceptual más sólida del diamagnetismo.

Palabras clave: Diamagnetismo. Modelado científico. Aprendizaje significativo. Formación docente. Educación en física.

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Física tem sido amplamente discutido na literatura da área, especialmente no que se refere às limitações de abordagens centradas predominantemente em aulas expositivas tradicionais, nas quais o professor atua como principal transmissor do conhecimento, utilizando majoritariamente a exposição oral e o livro didático como recursos pedagógicos. Embora esse modelo tenha relevância histórica e ainda desempenhe papel importante em determinados contextos educacionais, seu uso contínuo e pouco diversificado pode dificultar a construção de uma aprendizagem mais significativa para os estudantes. Nesse sentido, diversas pesquisas na área de Ensino de Física têm buscado propor alternativas metodológicas capazes de enfrentar desafios persistentes no processo de ensino-aprendizagem dessa disciplina (Moreira, 2017, 2021a, 2021b).

Esses desafios não se restringem apenas à educação básica, mas também se manifestam no ensino superior, particularmente nos cursos de formação de professores de Física, nos quais frequentemente se observa a predominância de abordagens fortemente matemáticas em detrimento da discussão conceitual dos fenômenos físicos. Nesse contexto, torna-se fundamental desenvolver estratégias didáticas que valorizem a compreensão conceitual, promovendo a articulação entre teoria, modelagem científica e formalismo matemático em níveis compatíveis com os objetivos formativos da graduação.

Diversas pesquisas sobre formação inicial de professores de Física apontam que as licenciaturas ainda apresentam forte fragmentação entre os conhecimentos específicos da área e os saberes pedagógicos da docência, mantendo, em muitos casos, uma estrutura curricular próxima à lógica do bacharelado (Nardi & Pierson, 2001; Gatti, 2010). Essa configuração tende a dificultar a construção da identidade profissional docente e a favorecer a permanência de práticas tradicionais centradas na transmissão de conteúdos e na resolução mecânica de exercícios. No campo do Ensino de Física, Moreira (2017) destaca que um dos grandes desafios contemporâneos consiste justamente em superar abordagens excessivamente formalistas, promovendo maior articulação entre compreensão conceitual, problematização e significação para o estudante. Nesse contexto, a proposta deste trabalho dialoga diretamente com essas discussões ao buscar inserir o ensino do diamagnetismo na formação inicial de professores a partir de referenciais que valorizam a aprendizagem significativa, a modelagem científica e a mediação pedagógica, contribuindo para uma formação mais crítica, reflexiva e epistemologicamente consistente.

Dentre as propostas teórico-metodológicas voltadas à promoção de uma aprendizagem significativa no ensino de Física, destacam-se a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), proposta por Moreira (2011), e a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs), desenvolvida por Delizoicov e Angotti (1990). Essas abordagens buscam estruturar o processo de ensino-aprendizagem a partir da problematização, da organização conceitual e da aplicação do conhecimento, favorecendo uma participação mais ativa dos estudantes na construção do saber científico.

Neste trabalho, tais referenciais são articulados com a perspectiva da modelagem científica, que assume papel estruturante na organização epistemológica da proposta, que consiste na elaboração de uma sequência didática voltada ao ensino de conceitos relacionados ao diamagnetismo da matéria no contexto da

formação inicial de professores de Física. Nessa perspectiva, a noção de modelagem científica adotada neste trabalho encontra respaldo na teoria proposta por David Hestenes a partir de 1987 (Hestenes, 1987, 2006), que concebe a Física como uma Ciência essencialmente baseada na construção, validação e aplicação de modelos. Para o autor, aprender Física implica desenvolver a capacidade de construir, interpretar e utilizar modelos conceituais e matemáticos que representem fenômenos do mundo físico, articulando diferentes formas de representação, como diagramas, equações, descrições verbais, conceituais e experimentos.

Segundo Hestenes (1987, 2006), os modelos científicos não devem ser compreendidos apenas como ferramentas auxiliares, mas como elementos centrais na organização do conhecimento científico e no processo de aprendizagem. Nesse sentido, o ensino de Física orientado pela modelagem promove a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento, favorecendo a investigação, a formulação de hipóteses, a validação de ideias e a aplicação dos conceitos em diferentes contextos. Neste íterim, para este trabalho, a modelagem científica é assumida como um referencial epistemológico e didático que orienta a organização da sequência didática proposta, especialmente na construção, interpretação e utilização de modelos explicativos do fenômeno do diamagnetismo. Assim, a modelagem funciona como eixo articulador entre a compreensão conceitual do conteúdo e a organização metodológica proporcionada pela UEPS e pelos 3MPs.

A incorporação desse referencial teórico à presente proposta justifica-se, então, por sua coerência com os princípios da UEPS e dos 3MPs, uma vez que todos esses enfoques valorizam a construção ativa do conhecimento, a problematização e a contextualização dos conteúdos. Assim, a modelagem científica, à luz da teoria de Hestenes (1987, 2006), contribui para conferir maior consistência epistemológica e didática à sequência proposta, especialmente no que se refere à compreensão conceitual do diamagnetismo da matéria.

A proposta prioriza uma abordagem conceitual e teórica do fenômeno, que permita compreender seus fundamentos físicos sem recorrer a formalismos mais avançados, como o tratamento quântico completo baseado no hamiltoniano de partículas carregadas em campos magnéticos ou na resolução da equação de Schrödinger, frequentemente utilizados em abordagens mais especializadas da teoria. Além disso, destaca-se que o diamagnetismo da matéria tem recebido relativamente pouca atenção nas pesquisas em ensino de Física, bem como nos currículos de formação em cursos de graduação em Física, nos quais o estudo do magnetismo frequentemente se concentra em fenômenos mais abordados, como o ferromagnetismo e o paramagnetismo. Essa lacuna pode dificultar uma compreensão mais ampla das propriedades magnéticas da matéria, especialmente no que se refere à explicação microscópica dos fenômenos. Nesse sentido, a proposta apresentada busca contribuir para a ampliação das discussões sobre esse tema no contexto da formação inicial de professores, oferecendo subsídios conceituais e didáticos que possam favorecer uma abordagem mais abrangente das propriedades magnéticas da matéria no ensino de Física.

Dessa forma, o presente artigo deriva de uma pesquisa monográfica desenvolvida no âmbito do Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Física realizada no âmbito da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, (Santana, 2021; Santana & Castro, 2021a, 2021b), em que tem como objetivo propor e analisar o potencial pedagógico e de aprendizagem de uma sequência didática, bem como suas limitações, fundamentada na UEPS e nos 3MPs tendo em vista a modelagem científica, voltada ao ensino do diamagnetismo da matéria na formação inicial de professores de Física. Sendo assim, este trabalho tem a seguinte questão de pesquisa: como uma sequência didática baseada em UEPS e nos 3MPs, orientada pela perspectiva epistemológica da modelagem científica, pode contribuir para a compreensão conceitual do diamagnetismo na formação de professores de Física?

A seção de metodologia e estado do conhecimento caracteriza a pesquisa como qualitativa e teórico-propositiva, descrevendo o levantamento bibliográfico realizado em periódicos de ensino de Física para identificar estudos sobre diamagnetismo, modelagem científica e formação docente, evidenciando a escassez de trabalhos relacionados ao tema, e além disso define as categorias de análise da proposta e os critérios de sua construção. Na seção sobre magnetismo e propriedades magnéticas da matéria, são discutidos os fundamentos históricos e conceituais do magnetismo, com explicações sobre ferromagnetismo, paramagnetismo e, principalmente, diamagnetismo, abordando sua origem microscópica, aplicações tecnológicas e exemplos experimentais.

A seção dedicada à modelagem científica e à construção teórica do diamagnetismo discute a importância da modelagem no ensino de Física, apresenta a evolução histórica dos modelos explicativos do diamagnetismo e analisa criticamente a abordagem superficial do tema em livros didáticos clássicos utilizados na formação inicial de professores. Em seguida, a seção sobre formação inicial de professores de Física debate os desafios curriculares e pedagógicos das licenciaturas, defendendo a articulação entre conhecimentos conceituais, epistemológicos e didáticos por meio da modelagem científica, da UEPS e dos

3MPs. A seção de propostas para a graduação em Física apresenta a sequência didática voltada ao ensino do diamagnetismo, organizada, na forma de UEPS e em 3MPs, em diferentes etapas de problematização, aprofundamento conceitual, experimentação, revisão e avaliação, com o objetivo de promover aprendizagem significativa e contribuir para uma formação docente mais crítica e reflexiva. Há também a seção de análise e discussão, na qual se discute as potencialidades e limitações da proposta, bem como suas proposições de enfrentamento. Por fim, finalizamos com as considerações finais.

2. METODOLOGIA E ESTADO DO CONHECIMENTO

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa e de caráter teórico-propositivo por dedicar-se à elaboração de uma proposta didática fundamentada em referenciais teóricos consolidados, sem realização de intervenção empírica, característica reconhecida em pesquisas de desenvolvimento de propostas educacionais (Gil, 2008; André, 2013), cujo objetivo consiste na elaboração e análise de uma sequência didática fundamentada em referenciais da área de ensino de Física. A abordagem qualitativa justifica-se por privilegiar a compreensão aprofundada dos fenômenos educacionais e dos processos de construção do conhecimento, em detrimento de análises estritamente quantitativas (Sampieri, Collado & Lucio, 2013; Flick, 2009). Além disso, o caráter teórico-propositivo da pesquisa está relacionado à elaboração de intervenções didáticas fundamentadas em referenciais teóricos consolidados, visando à análise de seu potencial pedagógico (Gil, 2008; André, 2013). No contexto do ensino de Física, esse tipo de investigação tem sido amplamente utilizado para o desenvolvimento e avaliação de propostas didáticas que favoreçam a aprendizagem significativa (Moreira, 2011; Delizoicov & Angotti, 1990).

Neste sentido, com o objetivo de compreender como a temática tem sido abordada na literatura da área, realizou-se um levantamento do estado do conhecimento. Esse tipo de investigação consiste no mapeamento e na análise da produção acadêmica sobre determinado tema, buscando identificar tendências teóricas, metodológicas, recorrências e lacunas ainda existentes no campo de estudo. Segundo Ferreira (2002), pesquisas dessa natureza permitem compreender os caminhos já percorridos por determinada área do conhecimento, bem como evidenciar problemáticas ainda pouco exploradas, contribuindo para a delimitação e a justificativa de novas investigações. Assim, o levantamento realizado neste trabalho possibilita situar a discussão sobre o ensino do diamagnetismo no contexto da formação inicial de professores de Física e fundamentar a relevância da proposta apresentada.

Dado o exposto, o estado do conhecimento consistiu na busca por publicações científicas, artigos em revistas da área de Ensino de Física e em periódicos interdisciplinares e livros didáticos utilizados na graduação em Física, com a finalidade de obter uma visão geral sobre a produção acadêmica relacionada ao tema e verificar o grau de abrangência das discussões existentes na literatura. Inicialmente, foram selecionados periódicos que publicam pesquisas na área de ensino de Física e, posteriormente, foram realizadas buscas nos mecanismos de pesquisa disponíveis nos próprios sites dessas revistas, utilizando palavras-chave relacionadas à temática deste estudo.

A análise documental e bibliográfica foi desenvolvida por meio de uma leitura exploratória e leitura analítica do corpus selecionado. Como parâmetros interpretativos, consideraram-se: (i) a presença e a forma de abordagem do diamagnetismo; (ii) a profundidade conceitual do conteúdo; (iii) a articulação entre aspectos conceituais, históricos e epistemológicos; (iv) a existência de propostas didáticas relacionadas ao tema; e (v) as implicações para a formação inicial de professores de Física. A partir desses critérios, realizou-se uma síntese interpretativa das lacunas identificadas, cujos resultados subsidiaram tanto a análise apresentada quanto a elaboração da sequência didática proposta.

Como critério principal para a seleção das publicações nas revistas, considerou-se a relação dos trabalhos com a área de ensino de Física/Ciências e com a abordagem da modelagem científica, utilização de UEPS, Três Momentos Pedagógicos, Formação de Professores e Diamagnetismo. Para a realização das buscas, foram utilizadas palavras-chave diretamente associadas ao tema e à proposta metodológica deste trabalho, tais como: diamagnetismo, diamagnetismo da matéria, modelagem e diamagnetismo e formação de professores. Essas palavras foram pesquisadas tanto nos títulos e resumos quanto ao longo do texto completo das publicações. O recorte temporal adotado contemplou todo o período de publicação das revistas selecionadas, desde suas primeiras edições até o momento da realização da pesquisa. UEPS e 3MPs não foram utilizados como descritores independentes, pois o objetivo do levantamento consistia em identificar pesquisas especificamente relacionadas ao ensino do diamagnetismo; posteriormente verificou-se se essas pesquisas empregavam tais referenciais.

Dentre os periódicos selecionados para o levantamento bibliográfico, destacam-se revistas vinculadas majoritariamente a instituições públicas de ensino e pesquisa com escopo voltado ao Ensino de Física e

Ensino de Ciências e reconhecidos pela publicação contínua de pesquisas na área e por sua relevância acadêmica para a formação de professores e o ensino de Física, tais como: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Experiências em Ensino de Ciências (EENCI), Física na Escola (FnE), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática (REBECM), Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (RBECT), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e a Revista do Professor de Física (RPF).

Esses periódicos apresentam reconhecida relevância acadêmica e científica, principalmente para o Ensino de Física e Ensino de Ciências, publicando trabalhos voltados ao ensino de Física/Ciências, à pesquisa em educação científica e a áreas correlatas. Suas publicações contribuem significativamente para a disseminação do conhecimento científico, tecnológico e educacional, sendo amplamente reconhecidas tanto no cenário nacional quanto internacional.

A partir do levantamento realizado no estado do conhecimento, considerando as palavras-chave que compõem o escopo deste trabalho, verificou-se que, nas revistas analisadas, não foram identificadas publicações que abordam a modelagem do diamagnetismo da matéria sob uma perspectiva de ensino ou de forma interdisciplinar, ou ainda na formação inicial de professores de Física. Ressalta-se que o procedimento de busca adotado esteve restrito à utilização de palavras-chave nos mecanismos de pesquisa dos periódicos selecionados.

Além disso, observou-se que apenas um número reduzido de estudos nestas revistas se dedica à elaboração de propostas de ensino-aprendizagem com foco em abordagens didático-pedagógicas voltadas à promoção de uma aprendizagem significativa, mas nenhuma com abordagem do diamagnetismo. Diante da lacuna identificada nas revistas, procedeu-se, ainda, à análise de livros didáticos de Física amplamente utilizados na formação inicial de professores, com o objetivo de verificar a presença e a forma de abordagem do diamagnetismo nesses materiais. Essa etapa buscou complementar a análise da literatura especializada, considerando os livros didáticos como importantes recursos para o ensino e a aprendizagem nos cursos de graduação em Física, além de fornecer mais subsídios para a elaboração da sequência didática proposta.

Nesse contexto, destaca-se que o fenômeno do diamagnetismo é relativamente pouco explorado na literatura de ensino de Física, sobretudo quando comparado a outros tipos de magnetismo, como o ferromagnetismo e o paramagnetismo, que tendem a receber maior atenção em discussões conceituais e didáticas. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de investigações e propostas pedagógicas que contemplem o ensino do diamagnetismo, especialmente no âmbito da formação inicial de professores de Física.

A elaboração da sequência didática foi orientada pelos resultados do levantamento do estado do conhecimento e pela articulação entre os referenciais da UEPS (Moreira, 2011), dos 3MPs (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002) e da perspectiva epistemológica da modelagem científica (Hestenes, 1987; 2006). O levantamento permitiu identificar lacunas relacionadas à abordagem do diamagnetismo na formação inicial de professores de Física, as quais subsidiaram a definição dos objetivos de aprendizagem, dos conteúdos conceituais e das estratégias didático-pedagógicas que compõem a proposta. A organização da sequência buscou assegurar coerência entre os referenciais teóricos adotados e as atividades propostas para o desenvolvimento do conteúdo.

A análise da sequência didática assumiu caráter teórico-analítico, consistindo na apreciação de sua coerência interna em relação aos referenciais que a fundamentam. As categorias analíticas foram definidas a partir dos princípios da UEPS, dos 3MPs e da perspectiva epistemológica da modelagem científica, sendo organizadas em dois eixos: potencial didático e limitações. Estes eixos contemplaram as seguintes categorias expostas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Categorias de análise didática, potencial e limitações.

Eixo Analítico	Categoria de Análise	Descrição
	Mobilização de conhecimentos prévios	Analisa se a sequência favorece a identificação e ativação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre magnetismo, permitindo a ancoragem de novos conceitos em consonância com a aprendizagem significativa.

	Problematização e investigação	Verifica se as situações-problema propostas estimulam questionamentos, formulação de hipóteses, reflexão crítica e investigação conceitual acerca do diamagnetismo.
	Construção conceitual do diamagnetismo	Avalia se a sequência favorece a compreensão progressiva dos conceitos relacionados ao diamagnetismo, suas propriedades e explicações microscópicas.
Potencial Didático	Modelagem científica	Analisa o potencial da proposta para promover a construção, interpretação e utilização de modelos explicativos sobre os fenômenos magnéticos, em consonância com a perspectiva da modelagem científica.
	Aprendizagem significativa	Verifica indícios de diferenciação progressiva e reconciliação integradora dos conceitos trabalhados ao longo da sequência didática.
	Integração entre teoria e prática	Analisa a articulação entre discussões conceituais, atividades experimentais, videoaulas, mapas conceituais e aplicações tecnológicas do diamagnetismo.
	Formação inicial de professores	Avalia as contribuições da sequência didática para a formação conceitual, epistemológica e pedagógica de licenciandos em Física.
	Participação ativa dos estudantes	Verifica se a proposta favorece protagonismo discente, interação, argumentação e participação coletiva na construção do conhecimento.
	Limitações curriculares	Analisa as dificuldades relacionadas ao reduzido espaço destinado ao diamagnetismo nos currículos de graduação em Física.
	Limitações temporais	Considera os desafios relacionados ao tempo didático necessário para o desenvolvimento integral da sequência proposta.
	Limitações metodológicas	Analisa possíveis dificuldades associadas à implementação de abordagens fundamentadas em UEPS, 3MPs e modelagem científica.
Limitações	Limitações formativas	Considera possíveis lacunas na formação docente relacionadas à mediação pedagógica e ao domínio dos referenciais teóricos utilizados.
	Limitações estruturais	Verifica dificuldades relacionadas à disponibilidade de recursos experimentais, tecnológicos e materiais necessários à aplicação da proposta.
	Limitações epistemológicas	Analisa os limites decorrentes da simplificação conceitual necessária para abordar o diamagnetismo em nível introdutório na formação inicial de professores.

Considerando o caráter qualitativo e interpretativo deste trabalho, a análise foi organizada pelos dois eixos: potencial didático e limitações da proposta. O primeiro eixo contempla aspectos relacionados à aprendizagem significativa, à problematização, à modelagem científica, à participação discente e à formação

inicial docente. Já o segundo eixo considera limites curriculares, metodológicos, estruturais, epistemológicos e formativos que podem interferir na implementação da sequência didática no contexto da graduação em Física. Desse modo, a análise, na qual apresenta sua própria seção após a apresentação da sequência didática, não teve por finalidade validar empiricamente a sequência, mas examinar seu potencial pedagógico à luz dos referenciais teóricos adotados e as limitações da proposta voltada ao ensino do diamagnetismo da matéria na formação inicial de professores de Física.

3. MAGNETISMO E PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DA MATÉRIA: FERROMAGNETISMO, PARAMAGNETISMO E DIAMAGNETISMO

O termo magnetismo refere-se ao conjunto de fenômenos associados à interação entre determinados materiais capazes de exercer forças de atração ou repulsão sobre outros corpos, especialmente aqueles que apresentam propriedades magnéticas (Ribeiro, 2000; Sousa, 2021; Barros & Barreto, 2018). A origem histórica do estudo do magnetismo está relacionada à antiga cidade de Magnésia, localizada na região que atualmente corresponde à Turquia, conhecida por sua abundância em minérios de ferro. Nessa região era encontrada a magnetita (Fe_3O_4), um mineral que apresenta a capacidade natural de atrair ferro e outros materiais de composição semelhante (Ribeiro, 2000; Sousa, 2021).

Relatos históricos (Barros & Barreto, 2018) indicam que pensadores da Grécia Antiga foram alguns dos primeiros a refletirem sobre as propriedades da magnetita e seus efeitos de atração. Filósofos como Tales de Mileto e Anaxágoras interpretavam esse fenômeno de forma filosófica, chegando a atribuir à magnetita uma espécie de “alma” ou princípio vital, devido à sua capacidade de atrair outros materiais (Ribeiro, 2000; Barros & Barreto, 2018).

Ao longo do tempo, os estudos sobre magnetismo passaram a assumir um caráter mais sistemático e experimental. Uma das primeiras tentativas experimentais de compreender esse fenômeno foi realizada por Pierre Pélerin de Maricourt, também conhecido como Petrus Peregrinus, que em 1269 produziu um dos mais antigos tratados de Física Experimental. Em seus estudos com esferas de magnetita, Peregrinus identificou a existência de regiões específicas de maior intensidade magnética, posteriormente denominadas pólos magnéticos, além de estabelecer analogias entre esses polos e os polos geográficos da Terra (Ribeiro, 2000). Posteriormente, William Gilbert aprofundou os estudos sobre o tema e sistematizou diversas observações experimentais, razão pela qual é frequentemente considerado o “pai do magnetismo” (Barros & Barreto, 2018).

A partir do século XIX, os fenômenos magnéticos passaram a ser compreendidos de forma mais ampla com a descoberta de sua relação com a eletricidade, o que levou ao desenvolvimento da teoria do eletromagnetismo (Ribeiro, 2000). Contribuições fundamentais nesse processo foram realizadas por cientistas como Hans Christian Ørsted, André-Marie Ampère, Michael Faraday, Joseph Henry, Carl Friedrich Gauss e James Clerk Maxwell, cujos trabalhos foram essenciais para a unificação conceitual entre eletricidade e magnetismo (Barros & Barreto, 2018).

Os avanços nos estudos sobre magnetismo possibilitaram o desenvolvimento de diversas tecnologias amplamente utilizadas na sociedade contemporânea (Sousa, 2021). Dispositivos como motores elétricos, sistemas de transmissão de ondas de rádio e televisão, microfones, cartões magnéticos, eletroímãs utilizados na indústria e equipamentos de ressonância magnética empregados na medicina são exemplos de aplicações que derivam diretamente do conhecimento produzido na área do eletromagnetismo. Nesse sentido, embora o magnetismo seja uma interação invisível, ele está presente em inúmeras situações do cotidiano, muitas vezes sem que os indivíduos percebam sua atuação (Sousa, 2021).

De modo geral, o magnetismo pode ser compreendido como um comportamento apresentado por determinados materiais que respondem à presença de campos magnéticos, manifestando-se por meio de forças de atração ou repulsão. Esse comportamento está associado às chamadas propriedades magnéticas da matéria, tradicionalmente classificadas em três categorias principais: ferromagnetismo, paramagnetismo e diamagnetismo.

O ferromagnetismo, por sua vez, corresponde à forma mais intensa de manifestação das propriedades magnéticas da matéria. Em determinados materiais, os átomos encontram-se suficientemente próximos para que ocorra uma interação quântica conhecida como interação de troca, responsável pelo alinhamento coletivo dos momentos magnéticos atômicos. Essa interação gera um campo molecular interno suficientemente forte para promover o alinhamento desses momentos magnéticos, resultando em uma magnetização macroscópica significativa do material (Barros & Barreto, 2018).

Materiais que apresentam esse comportamento são denominados materiais ferromagnéticos e caracterizam-se por uma forte resposta à presença de campos magnéticos externos, sendo intensamente atraídos por ímãs (Sousa, 2021). Entre os exemplos mais conhecidos de materiais ferromagnéticos destacam-se o ferro (Fe), o níquel (Ni) e o cobalto (Co), amplamente utilizados em aplicações tecnológicas associadas a fenômenos magnéticos.

Do ponto de vista microscópico, os materiais ferromagnéticos podem ser descritos como sistemas constituídos por numerosos dipolos magnéticos elementares, associados principalmente aos momentos magnéticos dos elétrons. Esses dipolos tendem a se alinhar em determinadas regiões do material, formando os chamados domínios magnéticos, nos quais há orientação predominante dos momentos magnéticos. Essa propriedade favorece a concentração de linhas de campo magnético no interior do material, característica que torna os materiais ferromagnéticos particularmente importantes em diversas aplicações tecnológicas, como na fabricação de indutores, transformadores e outros dispositivos eletromagnéticos (Sousa, 2021).

Já o paramagnetismo é uma propriedade magnética observada em materiais que apresentam momentos magnéticos intrínsecos, porém com interações muito fracas entre si. De acordo com Ribeiro (2000), o paramagnetismo corresponde ao fenômeno presente em materiais cujos momentos magnéticos não interagem significativamente, de modo que, na ausência de um campo magnético externo, a magnetização resultante do material é nula. Quando submetidos a um campo magnético externo, entretanto, esses momentos tendem a se alinhar parcialmente na direção do campo aplicado, produzindo uma magnetização relativamente pequena (Barros & Barreto, 2018).

Nos materiais paramagnéticos, os momentos magnéticos estão associados principalmente ao momento orbital e ao *spin* dos elétrons, os quais contribuem para a resposta magnética do material. Entretanto, devido à ausência de interações cooperativas fortes entre esses momentos magnéticos, a magnetização produzida é relativamente fraca quando comparada à observada em materiais ferromagnéticos (Barros & Barreto, 2018).

De modo geral, os materiais paramagnéticos são formados por substâncias cujos átomos ou íons apresentam elétrons desemparelhados, o que possibilita a existência de momentos magnéticos individuais. Entre alguns exemplos de materiais paramagnéticos podem ser citados minerais como Ilmenita (FeTiO_3), Siderita (FeCO_3), Rutilo (TiO_2), Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Clorita (silicatos contendo Ferro, Magnésio e Alumínio), Piroxênios (silicatos contendo Mg, Ca e Fe) e Olivina ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$).

Já se tratando, então, do diamagnetismo, este corresponde a uma forma de resposta magnética relativamente fraca apresentada por determinados materiais quando submetidos a um campo magnético externo. De acordo com Ribeiro (2000), materiais diamagnéticos não possuem magnetização permanente e manifestam resposta magnética apenas na presença de um campo aplicado. Nessa situação, surge uma magnetização induzida cuja direção é oposta ao campo magnético externo, característica que faz com que esses materiais sejam fracamente repelidos pela fonte do campo magnético (Barros & Barreto, 2018).

Do ponto de vista microscópico, a magnetização diamagnética está associada à modificação do movimento orbital dos elétrons quando estes são submetidos à ação de um campo magnético externo. Esse campo altera a dinâmica orbital das cargas eletrônicas, produzindo correntes induzidas que geram um campo magnético oposto ao campo aplicado. Diferentemente dos outros tipos de magnetismo, como o paramagnetismo e o ferromagnetismo, no diamagnetismo não há contribuição do *spin* eletrônico para a magnetização do material. Conforme destacam Barros e Barreto (2018, p. 37), “no diamagnetismo não temos a contribuição do *spin* do elétron, apenas da variação do movimento orbital provocada pela atuação de um campo magnético externo”.

A ausência da contribuição do *spin* eletrônico nos materiais diamagnéticos pode ser compreendida a partir da organização eletrônica dos átomos que compõem essas substâncias, nos quais os elétrons tendem a formar pares com momentos magnéticos opostos, resultando em cancelamento do momento magnético total. Nesse contexto, a magnetização observada decorre exclusivamente da resposta orbital induzida pelo campo magnético aplicado. Em consonância a isso:

Para compreendermos essa característica dos materiais diamagnéticos, temos que utilizar o conceito quântico de orbital (regiões onde temos maior probabilidade de encontrarmos elétrons). Em cada orbital pode-se ter no máximo dois elétrons e quando o orbital está completo, ou seja, com dois elétrons, estes terão momentos magnéticos com sentidos contrários, produzindo neste orbital um momento magnético resultante nulo, ou seja, não contribuindo para a magnetização deste átomo (Barros & Barreto, 2018, p. 35).

Diante da citação anterior, nos materiais diamagnéticos, os átomos apresentam, em geral, subníveis eletrônicos completamente preenchidos, de modo que os elétrons se encontram emparelhados. Essa configuração eletrônica implica o cancelamento dos momentos magnéticos associados ao *spin* dos elétrons, fazendo com que esses momentos não contribuam para a magnetização do material. Assim, a resposta magnética observada nesses materiais decorre essencialmente da modificação do movimento orbital dos elétrons quando o sistema é submetido a um campo magnético externo.

Além do interesse conceitual no âmbito da Física, o diamagnetismo também está associado a diversas aplicações tecnológicas. Um exemplo relevante envolve sua relação com fenômenos ligados à supercondutividade, nos quais certos materiais apresentam comportamento diamagnético extremamente intenso. Esse efeito está relacionado à exclusão do campo magnético do interior do material supercondutor, fenômeno conhecido como efeito Meissner, que possibilita aplicações tecnológicas baseadas em levitação magnética.

Um caso de destaque é o desenvolvimento dos chamados trens de levitação magnética (*MagLev*, do inglês *Magnetic Levitation*), que utilizam forças magnéticas para sustentação e deslocamento, reduzindo significativamente o atrito mecânico. De acordo com Barros e Barreto (2018), as tecnologias empregadas nesses sistemas podem ser classificadas em três categorias principais: levitação eletrodinâmica, levitação eletromagnética e levitação supercondutora. No Brasil, destaca-se o projeto *MagLev-Cobra*, desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro, que utiliza levitação supercondutora para a sustentação e deslocamento do veículo (Moraes & Moreira, 2019). Nesse sistema, empregam-se materiais como cerâmicas supercondutoras de alta temperatura crítica, capazes de produzir forças de levitação suficientemente estáveis para a operação do sistema.

Do ponto de vista físico, a base desse processo está associada às propriedades diamagnéticas dos supercondutores, que promovem a exclusão do campo magnético de seu interior, possibilitando a geração de forças de repulsão capazes de sustentar o corpo em levitação (Barros & Barreto, 2018).

Após a apresentação dos principais conceitos relacionados ao diamagnetismo e de algumas de suas aplicações tecnológicas, pode-se considerar também abordagens experimentais que permitem ilustrar esse fenômeno. Um exemplo frequentemente discutido na literatura especializada envolve experimentos de repulsão magnética utilizando grafite, que possibilitam a visualização qualitativa do comportamento diamagnético em determinadas condições experimentais.

Como visualização da descrição anterior, a Figura 1 abaixo ajuda a entender melhor o conceito científico do diamagnetismo:

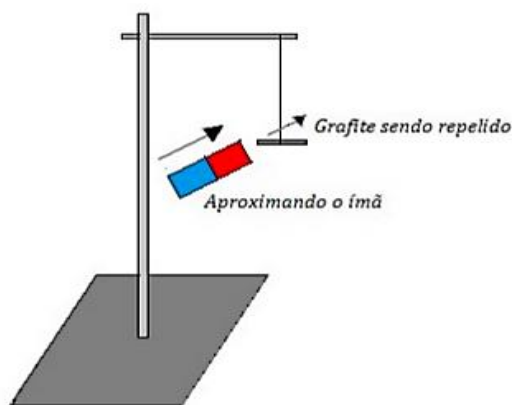


Figura 1: Repulsão do Grafite ao aproximar um Ímã. Fonte: Barros e Barreto (2018, p. 36).

O objetivo desse experimento consiste em evidenciar o comportamento diamagnético de um material, no caso o grafite, demonstrando sua repulsão quando submetido à ação de um campo magnético externo. Esse comportamento ocorre porque, na presença do campo aplicado, são induzidos momentos magnéticos no material com orientação oposta à direção do campo externo, resultando em uma força de repulsão entre o grafite e o ímã.

Uma consideração importante para a realização do experimento é a utilização de um ímã de neodímio, conhecido por apresentar elevada intensidade de campo magnético. Essa escolha se justifica pelo fato de

que o diamagnetismo é uma resposta magnética relativamente fraca quando comparada a outras propriedades magnéticas da matéria, como o paramagnetismo e o ferromagnetismo. Dessa forma, a utilização de um campo magnético mais intenso favorece a observação do efeito diamagnético.

Para a execução do procedimento experimental, Barros e Barreto (2018) sugerem fixar um pequeno fragmento de grafite por meio de uma linha presa a um suporte, permitindo que o material permaneça suspenso. Em seguida, aproxima-se o ímã do grafite, observando-se o comportamento do material diante da presença do campo magnético.

Durante o experimento, o campo magnético externo induz uma reorganização dos movimentos eletrônicos no material diamagnético, gerando momentos magnéticos induzidos orientados em sentido oposto ao campo aplicado. Como consequência, observa-se a repulsão do grafite em relação ao ímã, evidenciando qualitativamente o fenômeno do diamagnetismo.

Microscopicamente, o que ocorre de fato pode ser visualizado na Figura 2 abaixo:

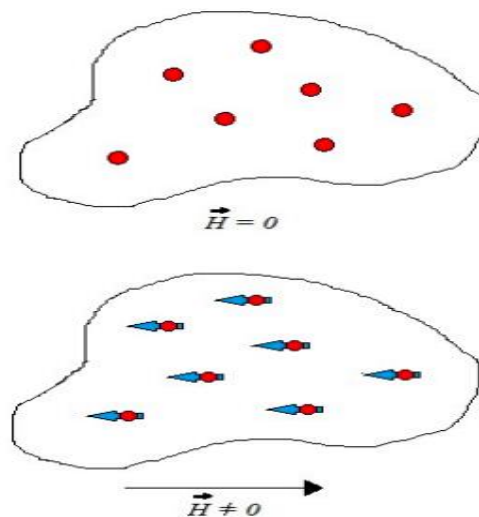


Figura 2: Configuração dos momentos magnéticos em um material diamagnético com e sem a presença de um campo magnético externo. Fonte: Barros e Barreto (2018, p. 34).

Nesse contexto, podem ser consideradas duas situações distintas: na primeira, o material diamagnético encontra-se na ausência de um campo magnético externo, não apresentando magnetização resultante; na segunda, o material é submetido à presença de um campo magnético externo, o que induz uma reorganização dos movimentos eletrônicos e produz uma magnetização em sentido oposto ao campo aplicado, resultando em uma força de repulsão em relação ao corpo que gera o campo magnético.

Para uma compreensão mais aprofundada do fenômeno do diamagnetismo, é pertinente considerar também uma abordagem microscópica qualitativa dos meios magnéticos. Nesse sentido, a análise pode ser relacionada, por analogia conceitual, aos fenômenos observados em materiais dielétricos. Nos dielétricos, os efeitos associados à polarização elétrica estão relacionados à existência de momentos de dipolo elétrico permanentes, presentes em moléculas polares, ou momentos de dipolo elétrico induzidos, observados em moléculas apolares quando submetidas a um campo elétrico externo (Machado, 2002).

De maneira análoga, a explicação microscópica das propriedades magnéticas da matéria está associada ao comportamento dos elétrons em movimento ao redor dos núcleos atômicos. Esses movimentos eletrônicos dão origem a momentos magnéticos elementares que, dependendo da organização eletrônica dos átomos e da interação com campos externos, podem resultar nos diferentes tipos de comportamento magnético observados na matéria.

Quando um campo magnético externo é aplicado a um material, os elétrons em movimento passam a sofrer a ação da força magnética. Nesse contexto, a componente da velocidade do elétron paralela ao campo magnético permanece constante, uma vez que não há atuação de força nessa direção. Por outro lado, a componente perpendicular ao campo é afetada, resultando em um movimento circular uniforme, no qual a força magnética desempenha o papel de força centrípeta. Assim, o movimento orbital do elétron pode ser interpretado como equivalente a uma corrente elétrica associada à circulação de carga, o que permite compreender a origem de efeitos magnéticos em nível microscópico (Machado, 2002).

Com a aplicação do campo magnético externo, o movimento dos elétrons ao redor das linhas de campo resulta na formação de um momento de dipolo magnético induzido, também denominado momento de dipolo magnético orbital. O campo magnético produzido por esses dipolos induzidos contribui para o campo magnético resultante no interior do material. Entretanto, esse campo induzido possui orientação oposta ao campo magnético externo aplicado, de modo que o campo total no interior da amostra torna-se menos intenso que o campo externo. Esse comportamento caracteriza o fenômeno do diamagnetismo, que apresenta analogias com processos observados em sistemas eletrostáticos (Machado, 2002).

De acordo com Machado (2002), como toda porção de matéria é constituída por átomos que possuem elétrons em movimento ao redor do núcleo, todas as substâncias apresentam, em algum grau, comportamento diamagnético. Contudo, esse efeito pode ser mascarado pela presença de outros tipos de magnetismo, como o paramagnetismo, que pode produzir uma resposta magnética mais intensa dependendo da estrutura eletrônica do material.

Em consonância com essa interpretação, Carneiro, Touse e Baffa (2003) destacam que o diamagnetismo é um fenômeno universal da matéria, uma vez que a aplicação de um campo magnético externo provoca a deformação da distribuição da corrente eletrônica nas moléculas, originando um momento de dipolo magnético induzido orientado em sentido oposto ao campo aplicado. Como consequência, a magnetização diamagnética tende a reduzir a intensidade do campo magnético externo no interior do material, embora, em muitos casos, esse efeito seja encoberto pela presença de comportamentos paramagnéticos ou ferromagnéticos.

Portanto, os efeitos associados ao diamagnetismo estão diretamente relacionados ao movimento orbital dos elétrons ao redor dos núcleos atômicos, sendo essa dinâmica microscópica responsável pela resposta magnética observada nos materiais quando submetidos a campos magnéticos externos (Machado, 2002).

4. MODELAGEM CIENTÍFICA, CONSTRUÇÃO TEÓRICA DO DIAMAGNETISMO E SUA ABORDAGEM EM LIVROS DIDÁTICOS NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE FÍSICA

Um dos desafios recorrentes no ensino de conceitos científicos, tanto na educação básica quanto no ensino superior, refere-se à necessidade de promover maior conscientização acerca da relevância dos conteúdos trabalhados em sala de aula, bem como estimular a participação ativa dos estudantes no processo de construção do conhecimento. Nesse contexto, torna-se fundamental que o ensino de Física vá além da simples transmissão de informações, buscando estratégias que favoreçam a interação, o engajamento e o protagonismo discente. Nesse sentido, a modelagem científica apresenta-se como uma abordagem promissora, uma vez que possibilita a investigação de problemas e a construção de explicações baseadas em conceitos, representações e princípios científicos, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa.

A modelagem científica envolve, inicialmente, a definição de um problema a ser investigado e, posteriormente, a elaboração de possíveis soluções por meio da construção e análise de modelos. Esse processo mobiliza conceitos, princípios teóricos e diferentes formas de representação, que permitem delinear o objeto-modelo investigado e favorecer a construção do conhecimento científico (Silva *et al.*, 2020). No contexto do ensino de Física, a modelagem científica pode ser compreendida como um campo conceitual que se articula com os diferentes campos conceituais da própria Física, possibilitando maior interação dos estudantes em situações de aprendizagem que demandam interpretação, análise e compreensão de fenômenos físicos (Heidemann *et al.*, 2017). Dessa forma, a modelagem apresenta implicações relevantes tanto para o ensino quanto para a pesquisa em Ensino em Física (Brandão *et al.*, 2011).

Nessa mesma direção, e ampliando essa compreensão, no âmbito da teoria da modelagem proposta por Hestenes (1987; 2006), a aprendizagem em Física ocorre por meio do engajamento dos estudantes em ciclos de modelagem, que envolvem a construção, validação, análise e refinamento de modelos. Esses ciclos refletem a própria prática científica e permitem compreender a Ciência como um processo dinâmico de elaboração de representações da realidade. Nessa abordagem, os modelos são vistos como estruturas cognitivas que integram conceitos, leis e princípios, sendo continuamente testados e ajustados frente a evidências empíricas. Tal perspectiva amplia o papel da modelagem no ensino, deslocando-a de uma função meramente ilustrativa para um papel estruturante na organização do conhecimento e no desenvolvimento do pensamento científico.

Nesse cenário, a modelagem científica tem conquistado espaço crescente na literatura sobre ensino de Física e de Ciências, sendo considerada um elemento fundamental para a compreensão da natureza da Ciência e para o desenvolvimento do pensamento científico (Heidemann *et al.*, 2018). Isso ocorre porque os

modelos científicos atuam como mediadores entre teoria e realidade, permitindo interpretar e explicar fenômenos do mundo físico por meio de representações conceituais e matemáticas. Além disso, o uso da modelagem no ensino pode favorecer o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, contribuindo para a compreensão de conceitos científicos, para o desenvolvimento de habilidades de raciocínio e resolução de problemas, bem como para o aprimoramento da linguagem científica (Heidemann *et al.*, 2018).

Nessa perspectiva, a modelagem também está relacionada ao próprio processo de construção do conhecimento científico e cognitivo. Conforme destaca Moreira (2014), a modelagem constitui um componente essencial tanto na construção da Ciência quanto na construção cognitiva dos indivíduos, uma vez que o conhecimento científico se desenvolve a partir da elaboração e reformulação contínua de modelos, conceitos e teorias. Assim, mais do que uma ferramenta para resolução de problemas, a modelagem contribui para uma compreensão mais adequada da prática científica contemporânea, cuja essência está na elaboração e na utilização de modelos para explicar fenômenos naturais (Brandão *et al.*, 2008).

Dessa forma, a adoção da modelagem científica neste trabalho fundamenta-se em seu potencial para promover a construção consistente de conhecimentos acerca do fenômeno do diamagnetismo via UEPS e os 3MPs. Para isso, é proposta uma sequência didática que articula diferentes estratégias de ensino, como leitura de textos científicos, utilização de videoaulas, construção de mapas conceituais e análise de experimentos demonstrativos, com o objetivo de favorecer uma aprendizagem mais significativa dos conceitos envolvidos.

Além da dimensão didática, é importante considerar também o desenvolvimento histórico dos modelos teóricos associados ao estudo do diamagnetismo. As primeiras observações relacionadas a esse fenômeno remontam ao final do século XVIII, quando o botânico e médico neerlandês Sebald Justinus Brugmans observou, em 1778, que substâncias como o bismuto e o antimônio eram repelidas por campos magnéticos. Observações semelhantes foram realizadas por seu pai, Anton Brugmans, que verificou que o bismuto metálico, quando colocado em um pequeno recipiente contendo água ou mercúrio, também apresentava comportamento de repulsão na presença de polos magnéticos (Bassalo, 2007).

Na tentativa de explicar esses fenômenos, alguns pesquisadores da época recorreram à chamada teoria dos dois fluidos magnéticos, proposta e defendida por cientistas como Johan Carl Wilcke. Segundo essa teoria, o magnetismo seria resultado da interação entre dois fluidos imponderáveis, denominados boreal e austral, cujas propriedades de atração e repulsão seriam análogas às observadas na teoria dos fluidos elétricos (Bassalo, 2007).

O termo diamagnetismo foi posteriormente introduzido e investigado de forma mais sistemática por Michael Faraday em 1845. A partir de seus experimentos, Faraday concluiu que o diamagnetismo constituía uma propriedade da matéria, observando que todos os materiais apresentavam algum tipo de resposta magnética quando submetidos a um campo externo, podendo essa resposta manifestar-se de forma diamagnética ou paramagnética (Jackson, 2015).

Apesar de sua relevância conceitual para a compreensão das propriedades magnéticas da matéria e de sua estreita relação com os fundamentos do eletromagnetismo, o diamagnetismo frequentemente recebe menor destaque em livros didáticos e em abordagens tradicionais do ensino de Física. Em muitos materiais utilizados tanto na educação básica quanto no ensino superior, o tema aparece de forma breve e predominantemente classificatória, limitado à distinção entre materiais ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos, sem maior aprofundamento acerca de sua origem microscópica, de sua relação com a indução eletromagnética (Weber, 2011) ou de sua importância histórica para a consolidação de modelos explicativos da matéria. Essa abordagem reduzida contribui para a permanência de lacunas conceituais na formação inicial de professores de Física, dificultando a compreensão mais ampla do magnetismo como fenômeno físico e reforçando a necessidade de propostas didáticas que promovam maior problematização e significado ao estudo desse conteúdo.

A reduzida presença do diamagnetismo no ensino de Física também pode ser observada em livros clássicos e amplamente utilizados na formação inicial de professores, tanto em obras canônicas de Física Geral quanto em textos propedêuticos de Eletromagnetismo. Em muitos desses materiais, o tema aparece de forma breve e em alguns casos, o diamagnetismo sequer recebe seção própria, sendo tratado apenas como uma observação complementar no estudo do magnetismo da matéria. Esse cenário contribui para a permanência de lacunas conceituais na formação inicial docente, reforçando a percepção de que determinados conteúdos permanecem curricularmente marginalizados (Lima, 2022). Assim, a realização de um levantamento sistemático em obras de referência da Física pode evidenciar essa ausência e fortalecer a justificativa da proposta apresentada neste trabalho, conforme Tabela 2 abaixo, sobretudo ao defender a

inserção do diamagnetismo como conteúdo relevante para a formação conceitual e pedagógica do futuro professor de Física.

Tabela 2: Abordagem do diamagnetismo em livros clássicos de Física utilizados na formação inicial docente.

Obra	Autor(es)	Forma de abordagem
Fundamentos de Física: Eletromagnetismo	Halliday, Resnick e Walker	Breve e predominantemente classificatória.
Física para Cientistas e Engenheiros	Serway e Jewett	Conceitual, porém resumida.
Curso de Física de Berkeley	Kittel, Knight e Ruderman	Maior aprofundamento teórico.
Introduction to Electrodynamics	Griffiths	Associado ao magnetismo da matéria.
Física para Cientistas e Engenheiros 3	Tipler e Mosca	Sem aprofundamento microscópico.
Introduction to Electrodynamics	David J. Griffiths	Breve e inserido na discussão sobre magnetização da matéria.
Física para Cientistas e Engenheiros	Serway e Jewett	Resumida e meramente conceitual.
Electricity and Magnetism	Edward M. Purcell e David Morin	Ênfase conceitual no eletromagnetismo, com pouca exploração do diamagnetismo.
Curso de Física Básica: Eletromagnetismo	Herch Moysés Nussenzveig	Apresenta o magnetismo principalmente sob perspectiva macroscópica e clássica, o diamagnetismo não recebe um desenvolvimento comparável ao que se encontra em textos especializados de matéria condensada ou Física Estatística. A abordagem é predominantemente macroscópica e voltada ao eletromagnetismo clássico.
Física para Universitários: Eletricidade e Magnetismo	Wolfgang Bauer e Gary Westfall	Prioriza conceitos clássicos de eletricidade, circuitos e campos magnéticos, o diamagnetismo da matéria não ocupa posição central.

Os dados apresentados na Tabela 2 evidenciam que, embora o diamagnetismo esteja presente em parte da literatura clássica da Física, sua abordagem ocorre, em geral, de forma secundária, descritiva e pouco aprofundada, sendo frequentemente associada apenas ao estudo do magnetismo da matéria. Esse cenário contribui para a baixa visibilidade do tema nos processos de ensino e aprendizagem e indica sua permanência em uma posição curricular marginal, o que pode dificultar a construção de uma compreensão conceitual mais consistente pelos licenciandos. Tal constatação reforça a pertinência da proposta desenvolvida neste estudo, ao evidenciar a necessidade de abordagens didáticas que integrem aspectos conceituais, históricos e epistemológicos do diamagnetismo, articulados a referenciais pedagógicos mais consistentes para a formação inicial de professores de Física.

Nesse contexto, torna-se relevante retomar as tentativas históricas de fundamentação teórica do diamagnetismo, especialmente aquelas desenvolvidas por Wilhelm Eduard Weber em 1847, que buscou explicar os fenômenos de atração e repulsão magnética observados na matéria a partir da relação entre eletricidade, correntes moleculares e indução magnética, contribuindo significativamente para a construção de modelos explicativos mais consistentes sobre o magnetismo da matéria. Sob essa perspectiva, a formulação de Weber pode ser compreendida como um exemplo concreto daquilo que Bunge (1973) define como construção de modelos teóricos capazes de representar e explicar fenômenos físicos para além da observação imediata. Em sua proposta, Weber considerou a existência de circuitos moleculares amperianos, ideia originalmente sugerida por André-Marie Ampère, segundo a qual correntes microscópicas circulando no interior das moléculas poderiam explicar os efeitos magnéticos observados nos materiais (Bassalo, 1994). De acordo com esse modelo, a aplicação de um campo magnético externo induziria correntes nesses circuitos moleculares, cujas direções seriam determinadas pela lei proposta por Heinrich Lenz, segundo a qual correntes induzidas sempre se opõem à variação que as produz. Essa interpretação reforça a ideia de que, conforme Bunge (1973), a Física avança pela elaboração de modelos explicativos que articulam abstração conceitual e formalização matemática na compreensão da realidade.

Weber (2011) em seu trabalho sobre Obras sobre Eletrodinâmica, Diamagnetismo e Eletromagnetismo, aprofunda a interpretação de que os fenômenos diamagnéticos não deveriam ser compreendidos de forma isolada, mas em estreita relação com os princípios gerais do eletromagnetismo. Para o autor, a ação de um campo magnético externo sobre a matéria produz alterações nos movimentos elétricos internos das partículas, gerando correntes induzidas que, em conformidade com a lei de Lenz, tendem a se opor à causa que as produz (Weber, 2011). Essa perspectiva permitiu compreender o diamagnetismo como resultado da interação entre eletricidade e magnetismo em nível microscópico, antecipando interpretações posteriores mais refinadas sobre a origem orbital da magnetização diamagnética. Dessa forma, Weber contribui para deslocar a explicação do fenômeno de uma visão puramente descritiva para uma formulação teórica baseada em modelos físicos consistentes.

Embora esse modelo tenha contribuído para a compreensão inicial dos fenômenos magnéticos, ele apresentava algumas limitações, especialmente ao tentar explicar a diferença entre materiais diamagnéticos e paramagnéticos. Para contornar essas dificuldades, Weber (2011) propôs que certos materiais possuíam correntes moleculares permanentes, cuja orientação poderia ser modificada pela ação de um campo magnético externo, permitindo explicar o comportamento paramagnético e a saturação magnética observada em substâncias altamente magnéticas, como o ferro (Bassalo, 1994).

Posteriormente, avanços experimentais contribuíram para uma compreensão mais aprofundada dessas propriedades. Em 1895, Pierre Curie demonstrou que a suscetibilidade magnética de substâncias paramagnéticas varia inversamente com a temperatura absoluta, resultado que ficou conhecido como Lei de Curie. Já no início do século XX, Paul Langevin desenvolveu um modelo teórico capaz de explicar tanto o paramagnetismo quanto o diamagnetismo. Nesse modelo, o diamagnetismo foi interpretado a partir da dinâmica dos elétrons submetidos a um campo magnético externo, enquanto o paramagnetismo foi associado à presença de momentos magnéticos intrínsecos em átomos e moléculas, cuja orientação estatística poderia ser descrita por meio da distribuição de Maxwell-Boltzmann (Bassalo, 1994).

Sob a perspectiva da teoria da modelagem científica proposta por Hestenes (1987, 2006), a evolução histórica apresentada das explicações para o diamagnetismo pode ser compreendida como um processo de construção, validação e refinamento de modelos científicos. Desde as primeiras interpretações baseadas na teoria dos fluidos magnéticos até os modelos de correntes moleculares de Weber e as formulações de Langevin, observa-se a elaboração de representações conceituais progressivamente mais sofisticadas, desenvolvidas para explicar e prever os fenômenos observados experimentalmente. Nesse sentido, tais modelos não devem ser entendidos como descrições definitivas da realidade, mas como estruturas teóricas provisórias, com domínio de validade e limitações específicas, que são continuamente avaliadas e reformuladas à luz de novas evidências. Essa leitura evidencia que o desenvolvimento do conhecimento sobre o diamagnetismo constitui um exemplo concreto da dinâmica própria da modelagem científica, reforçando sua relevância como eixo estruturante tanto da prática científica quanto das propostas de ensino de Física que buscam aproximar o estudante desse modo de produção do conhecimento.

A compreensão da Física como uma construção teórica baseada em modelos encontra, de fato, forte sustentação na epistemologia de Bunge (1973). Para o autor, as teorias científicas não consistem apenas em descrições empíricas ou formalismos matemáticos isolados, mas em sistemas conceituais organizados que utilizam modelos teóricos para representar aspectos da realidade e explicar o comportamento dos fenômenos naturais. Nesse sentido, os modelos matemáticos não possuem apenas função instrumental ou operacional, mas constituem parte essencial da própria produção do conhecimento científico, permitindo a formulação de

hipóteses, previsões e interpretações consistentes. Segundo Bunge (1973), compreender um fenômeno físico implica construir representações teóricas que articulem observação, abstração conceitual e formalização matemática. Essa perspectiva reforça a importância da modelagem científica no ensino de Física, especialmente em temas como o diamagnetismo, cuja compreensão exige a articulação entre fenômenos observáveis e explicações microscópicas não diretamente acessíveis.

A formulação proposta por Weber (2011), por exemplo, constitui um exemplo expressivo desse processo de modelagem científica, pois evidencia a tentativa de explicar o diamagnetismo por meio da construção de um modelo teórico fundamentado na relação entre correntes moleculares, indução magnética e eletricidade. Ao propor que a resposta diamagnética decorre de circuitos microscópicos induzidos pela ação de um campo externo, Weber não apenas descreve um fenômeno observado experimentalmente, mas elabora uma representação explicativa capaz de articular previsão, interpretação e coerência conceitual. Sob essa perspectiva, sua contribuição reforça a compreensão de que o conhecimento científico avança por sucessivos processos de elaboração, validação e reformulação de modelos, aspecto central tanto para a prática científica quanto para o ensino de Física orientado pela modelagem.

Essa compreensão da evolução do diamagnetismo como um processo de construção e refinamento de modelos científicos permite estabelecer uma articulação direta com a organização didática da proposta deste artigo. À luz da modelagem científica, conforme discutida por Hestenes (1987, 2006), o ensino deve favorecer a participação ativa dos estudantes em práticas análogas às da Ciência, envolvendo a construção, análise e validação de modelos. Nesse contexto, a UEPS atua como estrutura organizadora que possibilita a ancoragem progressiva desses modelos em conhecimentos prévios (Moreira, 2011), enquanto os 3MPs operacionalizam, em termos metodológicos, o ciclo de modelagem ao promover a problematização inicial (associada à emergência de explicações para fenômenos como a repulsão diamagnética), a organização do conhecimento (relacionada à sistematização de modelos explicativos, como os de Weber e Langevin) e a aplicação do conhecimento (voltada à utilização desses modelos em novas situações) (Delizoicov & Angotti, 1990). Dessa forma, o ensino do diamagnetismo deixa de ser uma exposição de resultados prontos e passa a refletir a dinâmica própria da construção do conhecimento científico.

No âmbito da proposta, a construção de modelos pelos estudantes se materializa na produção de diferentes formas de representação do fenômeno do diamagnetismo, tais como esquemas explicativos, descrições conceituais, relações qualitativas entre grandezas e interpretações de situações-problema. Esses modelos, ainda que em nível introdutório, permitem aos alunos representar a interação entre campo magnético e matéria, explicando, por exemplo, o comportamento de repulsão observado em materiais diamagnéticos a partir de ideias como correntes induzidas e oposição à variação do campo. Dessa forma, o estudante deixa de apenas reproduzir explicações e passa a elaborar e utilizar modelos para interpretar e prever fenômenos, em consonância com a perspectiva da modelagem científica.

No contexto deste trabalho, a modelagem científica orienta a elaboração das atividades da sequência didática ao incentivar que os licenciandos construam, analisem e utilizem modelos explicativos para interpretar e compreender o diamagnetismo. Assim, a modelagem não é apresentada apenas como conteúdo epistemológico, mas como princípio organizador das atividades propostas, articulando-se à estrutura da UEPS e aos 3MPs. Desse modo, sua função no presente estudo consiste em fornecer o referencial que orienta a organização das atividades e a construção da compreensão conceitual do fenômeno, respondendo diretamente à questão de pesquisa proposta.

5. FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE FÍSICA: FUNDAMENTOS, DESAFIOS E ARTICULAÇÕES COM O ENSINO DO DIAMAGNETISMO

A formação inicial de professores constitui uma etapa fundamental para a consolidação de práticas pedagógicas críticas, reflexivas e epistemologicamente consistentes, especialmente no campo da Física, cuja complexidade conceitual exige não apenas domínio dos conteúdos específicos, mas também compreensão aprofundada dos processos de ensino e aprendizagem. No contexto da licenciatura em Física, observa-se historicamente a predominância de uma formação fortemente centrada nos conteúdos matemáticos e técnicos da disciplina (Nardi & Pierson, 2001), muitas vezes em detrimento da dimensão pedagógica e da reflexão sobre a prática docente, aspecto também evidenciado neste artigo ao discutir a necessidade de superar abordagens excessivamente formalistas no ensino superior. Segundo Nardi e Pierson (2001), essa organização curricular contribui para a fragmentação entre os saberes específicos e os saberes da docência, dificultando a construção da identidade profissional do futuro professor e favorecendo a permanência de práticas tradicionais no ensino de Física.

Há de se considerar, ainda, a importância do viés curricular na formação inicial de professores de Física, uma vez que a organização curricular influencia diretamente quais conhecimentos são legitimados no processo formativo e quais acabam sendo secundarizados. Em muitos cursos de licenciatura, observa-se tanto a permanência de uma estrutura próxima ao bacharelado quanto um esvaziamento curricular de discussões conceituais mais amplas, epistemológicas e pedagógicas, favorecendo uma formação excessivamente tecnicista (Nardi & Pierson, 2001). Lima (2022) destaca que a construção de um currículo de Física deve garantir o acesso ao chamado “conhecimento poderoso”, isto é, ao saber sistematizado capaz de promover compreensão crítica e emancipação intelectual, superando propostas curriculares marcadas pela fragmentação e pelo pragmatismo (Lima, 2022). Nessa perspectiva, inserir o estudo do diamagnetismo articulado à modelagem científica e à aprendizagem significativa representa também uma escolha curricular, pois reafirma a importância de conteúdos conceitualmente densos e historicamente relevantes na formação docente, contribuindo para uma licenciatura mais sólida e epistemologicamente consistente.

No contexto específico da formação inicial de professores de Física, diversos estudos, como os de Nardi e Pierson (2001), apontam que os cursos de licenciatura ainda apresentam forte influência de uma lógica bacharelesca, na qual os conteúdos específicos da Física são priorizados em detrimento da articulação com os conhecimentos pedagógicos e com a reflexão sobre a prática docente. Essa organização curricular tende a dificultar a construção da identidade profissional do futuro professor, favorecendo a reprodução de metodologias tradicionais centradas na transmissão de conteúdos e na resolução mecânica de exercícios. Segundo Carvalho e Gil-Pérez (2011), formar professores de Ciências e Física exige muito mais do que domínio conceitual da disciplina, sendo necessário desenvolver competências relacionadas à problematização, à mediação pedagógica e à compreensão dos processos de aprendizagem. Nessa perspectiva, a inserção de abordagens como a modelagem científica, a UEPS e os Três Momentos Pedagógicos contribuem para uma formação inicial mais crítica e reflexiva, permitindo que o licenciando compreenda o ensino de Física como um processo de construção de significados e não apenas de reprodução de fórmulas e procedimentos.

Segundo Gatti (2010), a formação inicial de professores no Brasil ainda apresenta fragilidades estruturais relacionadas à fragmentação curricular, à dissociação entre teoria e prática e à pouca articulação entre os conhecimentos específicos e os saberes pedagógicos. Em cursos de licenciatura em Física, essa realidade torna-se ainda mais evidente, pois frequentemente o futuro professor recebe uma formação semelhante à do bacharelado, com menor espaço para discussões sobre metodologias de ensino, epistemologia da ciência e construção da identidade docente. Tal cenário contribui para a reprodução de modelos tradicionais de ensino, baseados na transmissão de conteúdos e na centralidade da exposição oral, criticados por Moreira (2017, 2021) e também apontados no presente artigo como limitadores da aprendizagem significativa.

Nóvoa (1992) destaca que formar professores não significa apenas transmitir técnicas didáticas, mas promover a construção de uma profissionalidade docente sustentada na reflexão crítica sobre a prática e na compreensão do papel social da educação. Nessa perspectiva, a formação inicial precisa possibilitar ao licenciando o desenvolvimento de competências que envolvam investigação, problematização, autonomia intelectual e capacidade de tomar decisões pedagógicas fundamentadas. Isso implica compreender o professor como sujeito produtor de conhecimento e não apenas como aplicador de metodologias prontas.

No ensino de Física, essa necessidade torna-se ainda mais relevante diante da persistência de dificuldades conceituais relacionadas à abstração dos fenômenos físicos e à excessiva matematização dos conteúdos. A proposta apresentada no artigo, ao trabalhar o diamagnetismo da matéria a partir da UEPS, dos Três Momentos Pedagógicos e da modelagem científica, insere-se justamente nessa perspectiva de fortalecimento da formação inicial, pois busca oferecer ao futuro professor não apenas o domínio conceitual do tema, mas também instrumentos didático-metodológicos para sua futura atuação docente.

Tardif (2014) argumenta que os saberes docentes são plurais e resultam da articulação entre saberes disciplinares, curriculares, experienciais e pedagógicos. Assim, a formação inicial deve criar condições para que esses diferentes saberes dialoguem de forma integrada. Quando o licenciando participa da elaboração, análise e aplicação de sequências didáticas fundamentadas teoricamente, como no caso da proposta sobre diamagnetismo, ele vivencia um processo formativo que ultrapassa a simples aprendizagem conceitual e avança em direção à constituição de sua identidade profissional.

Nesse sentido, a aprendizagem significativa proposta por Moreira (2011) contribui diretamente para a formação inicial ao defender que o conhecimento novo precisa ancorar-se em estruturas cognitivas já existentes, favorecendo compreensão duradoura e não mera memorização. Para futuros professores, essa concepção possui dupla importância: primeiro, porque melhora sua própria compreensão conceitual;

segundo, porque oferece uma base teórica consistente para a organização de práticas pedagógicas futuras. A UEPS, ao estruturar o ensino a partir da mobilização de conhecimentos prévios, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, favorece exatamente esse movimento formativo.

De modo semelhante, os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1990) ampliam essa perspectiva ao aproximar o conhecimento científico da realidade concreta dos estudantes, valorizando a problematização inicial, a organização do conhecimento e sua aplicação em diferentes contextos. Para o licenciando, essa abordagem permite compreender que ensinar Física não se resume à exposição de fórmulas, mas exige mediação pedagógica, contextualização e construção coletiva do saber. No caso do diamagnetismo, fenômeno frequentemente pouco explorado nos currículos, essa metodologia possibilita romper com a invisibilidade conceitual do tema e ampliar a compreensão das propriedades magnéticas da matéria.

Além disso, a modelagem científica, fundamentada em Hestenes (1987, 2006), fortalece a formação inicial ao aproximar o futuro professor da própria natureza da ciência. Ao compreender que a Física se organiza por meio da construção, validação e refinamento de modelos, o licenciando passa a perceber o conhecimento científico como processo dinâmico e não como conjunto estático de verdades prontas. Essa compreensão possui implicações pedagógicas profundas, pois favorece práticas investigativas e promove maior protagonismo discente, aspecto central para a renovação do ensino de Física.

Portanto, discutir formação inicial de professores no contexto deste artigo significa reconhecer que ensinar diamagnetismo não é apenas abordar um conteúdo específico do eletromagnetismo, mas criar oportunidades formativas para que futuros docentes desenvolvam competências conceituais, epistemológicas e pedagógicas articuladas. A proposta de sequência didática apresentada contribui justamente nesse sentido, ao integrar conteúdo científico, modelagem, aprendizagem significativa e problematização pedagógica, fortalecendo uma formação docente mais crítica, contextualizada e comprometida com a transformação das práticas de ensino de Física.

Nesse cenário, observa-se que os desafios historicamente apontados na formação inicial de professores de Física, como a fragmentação entre conhecimentos específicos e pedagógicos e a predominância de abordagens próximas ao bacharelado, demandam a incorporação de propostas didáticas que articulem, de forma mais consistente, conteúdo e prática docente. Estudos como os de Nardi e Pierson (2001) e Gatti (2010) evidenciam que a superação desse modelo formativo requer a inserção de experiências que possibilitem ao licenciando vivenciar o planejamento, a implementação e a análise de estratégias de ensino fundamentadas teoricamente. Nesse sentido, a proposta desenvolvida neste trabalho dialoga diretamente com essas demandas ao integrar o ensino do diamagnetismo a referenciais como a UEPS, os Três Momentos Pedagógicos e a modelagem científica, contribuindo para uma formação que articula compreensão conceitual, reflexão pedagógica e desenvolvimento da identidade profissional docente.

6. DIAMAGNETISMO DA MATÉRIA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES: PROPOSTA PARA A GRADUAÇÃO EM FÍSICA

Considera-se que a abordagem do diamagnetismo esteja mais diretamente relacionada a disciplinas como Eletromagnetismo, Física Geral III e Estrutura da Matéria, normalmente presentes em cursos de graduação em Física. De modo geral, essas disciplinas possuem uma carga horária aproximada de seis horas semanais, totalizando cerca de noventa horas ao longo do semestre.

Nesse contexto, a sequência didática proposta para a ensinagem dos conceitos relacionados ao diamagnetismo da matéria, apresentadas a seguir, foram concebidas para serem desenvolvidas no âmbito dessas disciplinas ou outras que tenham o diamagnetismo em suas ementas. A proposta prioriza uma abordagem predominantemente conceitual, buscando favorecer a compreensão dos fenômenos envolvidos e possibilitar sua inserção no planejamento dessas disciplinas, sem comprometer o desenvolvimento dos demais conteúdos previstos na carga horária do curso.

Diante o exposto, a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), proposta por Moreira (2011), surge como uma alternativa ao modelo tradicional de ensino-aprendizagem, frequentemente caracterizado pela transmissão mecânica e predominantemente oral de conteúdos. Fundamentada nas teorias da aprendizagem significativa desenvolvidas por autores como Ausubel, Novak, Hanesian, Vergnaud, Vygotsky, Gowin, Johnson-Laird, entre outros, a UEPS configura-se como um referencial teórico-metodológico voltado à criação de condições que favoreçam a ocorrência da aprendizagem significativa em sala de aula. Nesse sentido, esse modelo busca promover a compreensão de conceitos e temas relacionados a um ou mais conteúdos, possibilitando que os estudantes estabeleçam relações entre novos conhecimentos

e aqueles previamente existentes em sua estrutura cognitiva. Conforme destaca Moreira (2011), o principal objetivo de uma UEPS é facilitar a aprendizagem significativa dos conteúdos, contribuindo para o processo de construção do conhecimento.

Já a abordagem didática dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs), proposta por Delizoicov e Angotti (1990) e posteriormente aprofundada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), foi desenvolvida no contexto de um processo de formação de professores na Guiné-Bissau. Essa proposta resulta da transposição das concepções educacionais de Freire (1987) para o âmbito da educação formal, enfatizando uma perspectiva pedagógica dialógica. Nessa abordagem, o professor assume o papel de mediador do processo educativo, promovendo a articulação entre os conhecimentos científicos trabalhados em sala de aula e a realidade vivenciada pelos estudantes em seu cotidiano (Bonfim *et al.*, 2018).

A dinâmica dos 3MPs organiza-se em três etapas principais: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento. A adoção dessa abordagem justifica-se pelo fato de que ela favorece a construção de conhecimentos científicos de maneira mais reflexiva e contextualizada, estimulando o desenvolvimento de uma postura crítica por parte dos estudantes e contribuindo para a consolidação de práticas inovadoras no processo de ensino e aprendizagem (Delizoicov & Angotti, 1990; Delizoicov, Angotti, & Pernambuco, 2002).

No que se refere à avaliação da aprendizagem, propõe-se a adoção de estratégias formativas que permitam acompanhar a construção e a evolução dos modelos explicativos elaborados pelos estudantes ao longo da sequência didática. Nesse sentido, podem ser utilizados instrumentos como registros escritos, produção de esquemas representacionais, explicações orais e resolução de situações-problema, possibilitando ao professor identificar indícios de diferenciação progressiva e reconciliação integradora dos conceitos, bem como serão apresentados nas propostas. A avaliação, assim, desloca-se de uma perspectiva meramente classificatória para um processo contínuo de análise da compreensão conceitual, em consonância com a abordagem da aprendizagem significativa e com a modelagem científica.

A implementação da proposta pode enfrentar algumas dificuldades, como o tempo didático necessário para o desenvolvimento das atividades, a familiaridade limitada dos estudantes com abordagens baseadas em modelagem e possíveis lacunas na formação do professor em relação aos referenciais teóricos adotados. Como alternativas para contornar tais desafios, sugere-se a adaptação da sequência ao contexto escolar, a utilização de estratégias de mediação mais estruturadas nas etapas iniciais e o investimento em processos formativos que auxiliem o docente na compreensão e aplicação da modelagem científica, da UEPS e dos 3MPs. Tais encaminhamentos favorecem a viabilidade da proposta e ampliam seu potencial de aplicação em diferentes realidades educacionais.

6.1. Proposta com UEPS

Nesta subseção apresenta-se uma proposta de UEPS voltada ao ensino de conceitos relacionados ao diamagnetismo. O objetivo da sequência didática é promover um processo de ensino e aprendizagem que favoreça a compreensão significativa do fenômeno do diamagnetismo.

A organização da sequência, segundo os princípios da UEPS, evidencia uma progressão didática que busca articular conhecimentos prévios, diferenciação progressiva e reconciliação integradora em cada uma das etapas planejadas para uma carga horária de até 2 horas/aula, conforme tabela 3. As atividades propostas não se restringem à apresentação de conteúdos, mas procuram mobilizar processos de modelagem científica e construção conceitual, em consonância com o referencial adotado.

Tabela 3: Proposta de sequência didática de ensino de conceitos do diamagnetismo com UEPS.

Etapa	Objetivos	Atividades / Procedimentos	Recursos	Avaliação
	Levantar os conhecimentos prévios dos	Construção de mapa conceitual sobre magnetismo; discussão	Mapas conceituais, vídeos ¹ , texto de	Observação da participação e análise

¹ Levitação diamagnética da água:

<https://www.youtube.com/watch?v=kxcOuPKdIKs&list=PLCGvQ8AF8obLihYyQcQyK2NHShQphafyj&index=1>

Levitação diamagnética de um gafanhoto vivo:

<https://www.youtube.com/watch?v=rm3mJjWhitc&list=PLCGvQ8AF8obLihYyQcQyK2NHShQphafyj&index=4>

Levitação diamagnética de um morango:

<https://www.youtube.com/watch?v=m6k9v20nRF8&list=PLCGvQ8AF8obLihYyQcQyK2NHShQphafyj&index=6>

I - Situação inicial	estudantes sobre magnetismo e identificar concepções relacionadas ao diamagnetismo.	sobre termos como ferromagnetismo, paramagnetismo e diamagnetismo; questionamentos sobre a possibilidade de repulsão entre ímãs e materiais; exibição de vídeos; leitura introdutória sobre levitação magnética; apresentação histórica e conceitual do magnetismo.	Carmona (2000), referências acadêmicas, quadro e projetor.	qualitativa dos mapas conceituais iniciais.
II - Situações-problema	Estimular investigação, reflexão e formulação de hipóteses sobre o diamagnetismo.	Discussão coletiva de questões orientadoras; levantamento de hipóteses; leitura orientada de trecho de Barros e Barreto (2018); elaboração de novo mapa conceitual em grupos.	Texto didático, perguntas norteadoras, mapas conceituais.	Participação nas discussões e análise qualitativa dos novos mapas conceituais.
III - Aprofundando conhecimentos	Compreender os fundamentos teóricos do diamagnetismo.	Aula expositiva sobre diamagnetismo; apresentação dos modelos de Weber e Langevin; discussão sobre campo magnético, propriedades e aplicações do diamagnetismo; retomada das situações-problema.	Slides, apostilas, quadro, projetor multimídia.	Participação e capacidade de relacionar teoria e situações-problema.
IV - Nova situação	Consolidar conceitos por meio de videoaulas e experimentação.	Estudo de videoaulas; realização de experimento sobre diamagnetismo da água; discussão sobre estrutura eletrônica e elétrons emparelhados; elaboração de novos mapas conceituais.	Videoaulas ² , atividade experimental: diamagnetismo da água ³ ; mapas conceituais.	Observação da participação, análise dos mapas conceituais e compreensão do experimento.
V - Revisão	Revisar e consolidar os conceitos trabalhados ao longo da sequência didática.	Revisão dos principais conceitos; discussão de exemplos do cotidiano; retomada dos vídeos e do artigo de Carmona (2000).	Vídeos, artigo, quadro e materiais produzidos pelos estudantes.	Participação nas discussões e capacidade de relacionar conceitos.

Levitação diamagnética de um sapo vivo:

<<https://www.youtube.com/watch?v=2mmhXol8INg&list=PLCGvQ8AF8obLIhYyQcQyK2NHShQphafyj&index=6>

Levitação diamagnética de um tomate:

<<https://www.youtube.com/watch?v=2ZqyaqElHhs&list=PLCGvQ8AF8obLIhYyQcQyK2NHShQphafyj&index=3>

² Sugestão de 5 videoaulas (Marques, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e), disponibilizadas livremente no portal e-Aulas: <https://eaulas.usp.br/portal/home.action?sessionId=002281F9885C752DF275B059C31434CB>

Aula 1: <https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=6129>

Aula 2: <https://eaulas.usp.br/portal/video?idItem=6131>

Aula 3: <https://eaulas.usp.br/portal/video?idItem=6133>

Aula 4: <https://eaulas.usp.br/portal/video?idItem=6135>

Aula 5: <https://eaulas.usp.br/portal/video?idItem=6137>

³ Diamagnetismo da água: <https://www.youtube.com/watch?v=38C0XHTscFs&t=1s>

VI - Aula expositiva final	Sistematizar os conhecimentos construídos ao longo da UEPS.	Aula expositiva final; revisão dos mapas conceituais e anotações; discussão das dificuldades superadas; considerações finais sobre o diamagnetismo da água e sugestão de vídeo complementar.	Slides, mapas conceituais, anotações dos estudantes, vídeo ⁴ .	Participação e síntese dos conhecimentos apresentados.
VII - Avaliação da aprendizagem na UEPS	Verificar a aprendizagem significativa dos estudantes.	Avaliação contínua por meio de mapas conceituais, anotações e observações; aplicação de questões abertas.	Questões discursivas, registros dos estudantes.	Desempenho nas atividades, participação e evolução conceitual.
VIII - Avaliação da UEPS	Avaliar qualitativamente a efetividade da sequência didática.	Análise dos resultados obtidos; verificação da compreensão do conceito de diamagnetismo pelos estudantes; reflexão sobre a eficácia da UEPS.	Registros avaliativos e observações do professor.	Avaliação qualitativa da aprendizagem significativa alcançada.

Ainda, diante do exposto na tabela 3, a primeira etapa, a Situação inicial, e a sequência iniciam-se com uma atividade destinada ao levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes. Para isso, propõe-se a construção de um mapa conceitual contendo os conceitos considerados mais relevantes no estudo do magnetismo.

A partir dessa atividade, busca-se identificar se termos como ferromagnetismo, paramagnetismo e diamagnetismo são mencionados pelos estudantes. Após a elaboração do mapa conceitual, o professor pode questionar os estudantes sobre o significado desses termos, com especial atenção ao conceito de diamagnetismo. Também se propõe discutir em que parte do mapa conceitual esse fenômeno poderia ser inserido e quais seriam as justificativas para tal organização conceitual. Caso o conceito não seja identificado ou corretamente posicionado, podem ser propostas situações de ensino que estimulem o levantamento de conhecimentos prévios relacionados ao comportamento dos ímãs.

Nesse contexto, pode-se levantar a seguinte questão: seria possível ocorrer repulsão entre ímãs e determinados materiais? O uso de vídeos pode contribuir para despertar a curiosidade dos estudantes e ampliar a discussão inicial. Além disso, a leitura de um texto introdutório, como o artigo de Carmona (2000) sobre levitação magnética, pode aumentar o interesse dos estudantes pelo tema. Para finalizar essa etapa, recomenda-se apresentar um breve panorama histórico e conceitual sobre o magnetismo e sobre as propriedades magnéticas da matéria, com base em referências acadêmicas (Bassalo, 1994; Ribeiro, 2000; Sousa, 2021; Barros & Barreto, 2018), bem como a descrição histórica feita neste artigo, evidenciando o desenvolvimento desse conhecimento ao longo do tempo.

Para a segunda etapa, Situações-problema, são propostas situações-problema com o objetivo de estimular a investigação e a reflexão dos estudantes. Entre as questões orientadoras podem ser destacadas: Você já leu ou ouviu falar sobre diamagnetismo? Em quais disciplinas esse fenômeno é estudado? O que caracteriza o diamagnetismo? O que são materiais diamagnéticos? É possível citar exemplos? Você já presenciou alguma situação em que um material repele outro? O que substâncias como bismuto, ouro, mercúrio, zinco e os gases nobres têm em comum? É possível que um ser vivo, uma fruta ou um legume levitem?

Essas questões devem ser discutidas coletivamente, com mediação do professor, estimulando a curiosidade dos estudantes e incentivando a formulação de hipóteses, sem fornecer respostas prontas. Ao final dessa etapa, pode-se propor a leitura orientada de trechos do capítulo 5.1 de Barros e Barreto (2018), que aborda os principais materiais diamagnéticos. Após a leitura, os estudantes podem elaborar, em duplas ou pequenos grupos, um novo mapa conceitual sobre magnetismo, buscando integrar o conceito de

⁴ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=38C0XHTscFs&t=1s>

diamagnetismo ao esquema elaborado anteriormente. Os mapas conceituais produzidos devem ser analisados qualitativamente pelo professor.

Em Aprofundando Conhecimentos, realiza-se uma aula expositiva com o objetivo de aprofundar a compreensão do fenômeno do diamagnetismo. São apresentados os fundamentos teóricos do fenômeno, com destaque para os principais modelos físicos propostos por Weber e Langevin.

Também são discutidos conceitos fundamentais, como campo magnético, propriedades dos materiais diamagnéticos e possíveis aplicações do diamagnetismo. A aula pode ser conduzida com o auxílio de materiais didáticos, como apostilas e apresentações em slides. Durante essa etapa, as situações-problema discutidas anteriormente podem ser retomadas, incentivando os estudantes a buscar explicações científicas fundamentadas para as questões levantadas.

Já na Nova Situação, os conceitos relacionados ao diamagnetismo são retomados por meio de videoaulas, como as disponibilizadas por Marques (2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e). Essa atividade pode ser realizada de forma mais autônoma pelos estudantes, preferencialmente fora da sala de aula. Após o estudo das videoaulas, realiza-se em sala de aula uma atividade experimental que evidencie o diamagnetismo da água.

O experimento permite observar a repulsão magnética da água, tal como no vídeo sugerido, e discutir conceitos relacionados à estrutura eletrônica das moléculas diamagnéticas, caracterizadas pela presença de elétrons emparelhados. Ao final dessa etapa, os estudantes podem ser convidados a elaborar novos mapas conceituais, incorporando os conhecimentos obtidos nas videoaulas e na atividade experimental. Esses mapas também devem ser analisados qualitativamente pelo professor.

Na etapa de Revisão, são revisados os principais conceitos abordados ao longo da sequência didática, enfatizando a compreensão do fenômeno do diamagnetismo. Também podem ser discutidas situações do cotidiano em que materiais diamagnéticos estejam presentes. Além disso, os vídeos apresentados na etapa inicial podem ser retomados, possibilitando uma compreensão mais aprofundada da levitação magnética e de sua relação com o diamagnetismo. O artigo de Carmona (2000) também pode ser novamente discutido neste momento.

Como Aula Expositiva Final, a sequência é finalizada com uma aula expositiva na qual são retomados os conteúdos trabalhados ao longo da UEPS. Nessa etapa, os mapas conceituais elaborados pelos estudantes e suas anotações podem ser revisados, destacando-se as principais dificuldades superadas durante o processo de aprendizagem. Também são apresentadas considerações finais sobre o diamagnetismo, com destaque para o diamagnetismo da água, dando sugestão de visualização de seu funcionamento conforme o *link* do vídeo.

A Avaliação da Aprendizagem na UEPS deve ser realizada de forma contínua, considerando os mapas conceituais, as anotações dos estudantes e as observações do professor durante o desenvolvimento da sequência didática. Adicionalmente, podem ser aplicadas questões abertas envolvendo os conceitos abordados ao longo da UEPS. Já a Avaliação da UEPS, é a avaliação da própria UEPS, que deve ocorrer de forma qualitativa, considerando os resultados obtidos em termos de aprendizagem significativa. Caso se verifique que os estudantes passaram a compreender o conceito de diamagnetismo de forma mais clara e consistente, pode-se inferir que a sequência didática contribuiu efetivamente para a construção do conhecimento.

Considerando a extensão da sequência, algumas atividades podem ser realizadas de forma assíncrona, especialmente aquelas relacionadas ao estudo das videoaulas, o que contribui para otimizar o tempo em sala de aula e ampliar a autonomia dos estudantes.

6.2. Proposta com 3MPs

Nesta subseção, aborda-se uma proposta para o ensino do diamagnetismo a partir da aplicação dos 3 Momentos Pedagógicos, com sugestão de carga horária de 3 horas/aula para cada etapa⁵.

⁵ Trata-se apenas de uma sugestão de tempo, cabendo ao professor se organizar e adequar melhor o seu cronograma de acordo com sua necessidade e sua prática didática.

Tabela 4: Proposta de sequência didática para o ensino do diamagnetismo com base nos 3MPs.

Etapa	I – Problematização inicial	II – Organização do conhecimento	III – Aplicação do conhecimento
Objetivos	Despertar a curiosidade dos estudantes e estimular uma postura investigativa sobre o fenômeno do diamagnetismo.	Aprofundar os conhecimentos teóricos sobre diamagnetismo e organizar os conceitos estudados.	Aplicar os conceitos construídos para interpretar e explicar situações relacionadas ao diamagnetismo.
Atividades / Procedimentos	Apresentação de situações reais envolvendo diamagnetismo, como vídeos e demonstrações experimentais; realização do experimento do diamagnetismo da água; mediação do professor com questionamentos investigativos sobre repulsão entre materiais e fenômenos magnéticos do cotidiano.	Exposições dialogadas sobre diamagnetismo; resolução de exercícios; leitura e discussão de textos acadêmicos; realização de atividades experimentais; utilização de videoaulas; elaboração de anotações estruturadas sobre conceitos, relações e observações relevantes.	Retomada das questões da problematização inicial; discussão coletiva das respostas fundamentadas teoricamente; análise de fenômenos envolvendo diamagnetismo com base nos conhecimentos adquiridos ao longo da sequência didática.
Recursos	Vídeos, experimentos demonstrativos, materiais para experimento do diamagnetismo da água, quadro e projetor multimídia.	Slides, textos acadêmicos, apostilas, exercícios, videoaulas, experimentos demonstrativos e caderno de anotações.	Questões problematizadoras, registros dos estudantes, quadro e materiais utilizados anteriormente.
Avaliação	Participação nas discussões, formulação de hipóteses e envolvimento nas atividades investigativas.	Observação da participação, análise das anotações, resolução de exercícios e envolvimento nas discussões e experimentos.	Capacidade de argumentação científica, participação nas discussões e aplicação correta dos conceitos físicos relacionados ao diamagnetismo.

A distribuição das atividades nos três momentos pedagógicos revela coerência entre problematização, organização e aplicação do conhecimento. Essa organização amplia as possibilidades de contextualização do diamagnetismo e favorece a aproximação entre os conceitos físicos e situações de investigação, aspecto coerente com a perspectiva epistemológica da modelagem científica.

Na Problematização Inicial, por exemplo, o docente pode apresentar aos estudantes situações reais que evidenciem o fenômeno do diamagnetismo, como exemplos de levitação diamagnética apresentados em vídeos ou demonstrações experimentais, como o experimento do diamagnetismo da água sugerido anteriormente. Essas abordagens podem contribuir para tornar o fenômeno mais concreto e despertar o interesse inicial dos estudantes pelo tema. Na sequência, o professor pode assumir um papel de mediador e problematizador, propondo questionamentos que estimulem a reflexão e a investigação por parte dos alunos. Entre as questões que podem ser levantadas estão: os estudantes já presenciaram ou observaram alguma situação em que um determinado material repele outro? e qual seria o conceito físico responsável por esse fenômeno?

Essa etapa inicial tem como finalidade estimular a curiosidade e promover uma postura mais investigativa por parte dos estudantes, incentivando-os a refletir sobre fenômenos físicos presentes no cotidiano. Dessa forma, busca-se criar condições favoráveis para que os alunos reconheçam a necessidade

de compreender os conceitos relacionados ao diamagnetismo, que serão aprofundados nas etapas seguintes da sequência didática.

Na Organização do Conhecimento, o professor pode realizar exposições orientadas sobre o tema do diamagnetismo, atuando como mediador na compreensão dos conceitos envolvidos. O objetivo é aprofundar os conhecimentos iniciados no momento anterior, fornecendo subsídios teóricos que auxiliem os estudantes na análise e na resolução das questões problematizadoras previamente discutidas. Para isso, diferentes estratégias didáticas podem ser utilizadas, como resolução de exercícios envolvendo definições, leis e relações físicas, leitura e discussão de textos acadêmicos, realização de atividades experimentais e utilização de videoaulas. Entre os materiais que podem apoiar essa etapa, destaca-se o trabalho de Barros e Barreto (2018), que apresenta uma abordagem acessível sobre o diamagnetismo e os principais materiais diamagnéticos, e até mesmo a abordagem conceitual feita neste artigo. Além disso, podem ser empregados experimentos demonstrativos, como o experimento do diamagnetismo da água, e videoaulas sobre o tema (Marques, 2016a; 2016b; 2016c; 2016d; 2016e).

Com o intuito de favorecer uma melhor organização e sistematização do conhecimento, recomenda-se que os estudantes realizem anotações estruturadas durante as exposições do conteúdo, a realização dos experimentos e a visualização das videoaulas, registrando os conceitos, relações e observações considerados mais relevantes para a compreensão do fenômeno do diamagnetismo.

Na Aplicação do Conhecimento, o professor pode promover uma nova discussão com os estudantes, retomando as questões levantadas na Problematização Inicial. A diferença, neste momento, é que os alunos já dispõem de maior embasamento conceitual, construído ao longo das atividades e discussões anteriores, o que permite analisar e responder às questões iniciais com base nos fundamentos teóricos do diamagnetismo.

Como atividade de consolidação da aprendizagem, o professor pode solicitar que os estudantes elaborem um texto descritivo em formato de relatório, no qual apresentem sua compreensão sobre os conceitos abordados ao longo da sequência didática, bem como registrem eventuais dúvidas que ainda permaneçam. Essa atividade permite ao docente identificar o nível de compreensão alcançado pelos alunos e possíveis dificuldades conceituais. Adicionalmente, a elaboração de um mapa conceitual ao final da discussão pode contribuir para a organização e síntese dos conhecimentos construídos, auxiliando na consolidação das relações entre os principais conceitos relacionados ao diamagnetismo.

Embora a sequência didática apresentada tenha sido elaborada com base em referenciais teóricos consolidados e em lacunas identificadas na literatura especializada, seu potencial pedagógico é discutido exclusivamente em nível teórico. Assim, este estudo não permite afirmar evidências empíricas de aprendizagem ou de efetividade da proposta, uma vez que sua aplicação em contextos reais de formação inicial de professores de Física não constitui objetivo desta investigação.

7. ANÁLISE DIDÁTICA E DISCUSSÃO: POTENCIAL E LIMITES DA SEQUÊNCIA PROPOSTA

A sequência didática elaborada foi analisada à luz dos referenciais teóricos que fundamentam sua construção, especialmente a UEPS (Moreira, 2011) e a abordagem dos 3MPs (Delizoicov & Angotti, 1990; Delizoicov, Angotti & Pernambuco, 2002) a luz da perspectiva epistemológica da modelagem científica (Hestenes, 1987; 2006), e com base em uma organização em categorias de análise didática, potencial e suas limitações. Considerando o caráter teórico-propositivo deste trabalho, a análise aqui apresentada tem como objetivo avaliar o potencial didático da sequência a partir dos referenciais adotados, e não mensurar resultados de aprendizagem obtidos em aplicação empírica. As categorias analisadas foram aplicadas ao conjunto de atividades propostas, identificando elementos que, em tese, favorecem ou dificultam a promoção da aprendizagem significativa e da modelagem científica.

No âmbito da UEPS, a proposta apresenta potencial que pode favorecer a aprendizagem significativa na medida em que busca mobilizar conhecimentos prévios dos estudantes e promover a diferenciação progressiva dos conceitos relacionados ao magnetismo e ao diamagnetismo. A utilização de mapas conceituais ao longo das etapas da sequência possibilita ao professor identificar concepções iniciais, acompanhar reorganizações conceituais e analisar possíveis processos de reconciliação integradora, elementos centrais na teoria da aprendizagem significativa discutida por Moreira (2011). Nesse sentido, a retomada contínua dos conceitos em diferentes contextos tende a favorecer a construção gradual de significados mais consistentes acerca das propriedades magnéticas da matéria.

A categoria mobilização de conhecimentos prévios evidencia-se principalmente na etapa inicial da proposta, em que os estudantes são convidados a elaborar mapas conceituais sobre magnetismo e discutir

conceitos como ferromagnetismo, paramagnetismo e diamagnetismo. Essa estratégia apresenta potencial para identificar concepções alternativas e promover ancoragem cognitiva dos novos conhecimentos, aspecto fundamental na perspectiva ausubeliana adotada pela UEPS. Além disso, a problematização inicial acerca da possibilidade de repulsão entre materiais e ímãs favorece o surgimento de conflitos cognitivos capazes de estimular a reorganização conceitual dos estudantes.

No que se refere à categoria problematização e investigação, observa-se forte aproximação com os pressupostos dos Três Momentos Pedagógicos propostos por Delizoicov e Angotti (1990). As situações-problema elaboradas ao longo da sequência incentivam os estudantes a formular hipóteses, levantar explicações iniciais e discutir fenômenos relacionados ao diamagnetismo antes da sistematização formal dos conceitos. Questões envolvendo levitação magnética, repulsão diamagnética e propriedades de determinados materiais favorecem a curiosidade epistemológica e a participação ativa dos estudantes no processo de construção do conhecimento. Dessa forma, a proposta tende a superar abordagens centradas exclusivamente na transmissão mecânica de conteúdos, aproximando o ensino de Física de práticas investigativas e dialógicas.

A categoria construção conceitual do diamagnetismo também se mostra relevante na análise da proposta. O desenvolvimento progressivo das discussões, articulando aspectos históricos, conceituais e microscópicos do fenômeno, favorece uma compreensão mais ampla das propriedades magnéticas da matéria. A inserção de elementos históricos relacionados às contribuições de Faraday, Weber e Langevin contribui para evidenciar o caráter processual da construção do conhecimento científico, permitindo que os estudantes compreendam o diamagnetismo não apenas como classificação de materiais, mas como resultado de processos históricos de elaboração e refinamento de modelos científicos.

Sob a perspectiva da modelagem científica, fundamentada em Hestenes (1987; 2006), a sequência apresenta potencial para promover a construção e utilização de modelos explicativos acerca do diamagnetismo. A elaboração de representações conceituais, esquemas explicativos e interpretações qualitativas dos fenômenos permite que os estudantes participem de processos análogos à prática científica, nos quais modelos são construídos, discutidos e utilizados para interpretar fenômenos físicos. Nessa perspectiva, a modelagem deixa de possuir função meramente ilustrativa e assume papel estruturante na organização do conhecimento científico trabalhado em sala de aula.

Além disso, a categoria aprendizagem significativa evidencia-se na forma como os conceitos são retomados e aprofundados ao longo da sequência. A utilização de diferentes estratégias didáticas, como leitura de textos, videoaulas, experimentação e construção de mapas conceituais, contribui para a diferenciação progressiva dos conteúdos e para o estabelecimento de relações entre conceitos anteriormente isolados. Assim, a proposta tende a favorecer processos de reconciliação integradora entre conceitos relacionados ao magnetismo da matéria, permitindo aos estudantes desenvolver interpretações mais articuladas e consistentes acerca do fenômeno estudado.

A integração entre teoria e prática constitui outro aspecto relevante do potencial didático da proposta. A articulação entre discussões conceituais, experimentação qualitativa, análise de aplicações tecnológicas e utilização de recursos audiovisuais favorece maior contextualização do conteúdo e amplia as possibilidades de compreensão do diamagnetismo. A realização de experimentos demonstrativos, como o diamagnetismo da água e a repulsão do grafite, contribui para tornar observáveis fenômenos frequentemente tratados apenas em nível abstrato ou matemático, aproximando os estudantes da dimensão empírica do conhecimento científico.

No contexto da formação inicial de professores de Física, a proposta apresenta potencial formativo ao articular conhecimentos específicos, epistemológicos e pedagógicos. A sequência não se limita à apresentação conceitual do diamagnetismo, mas também possibilita ao licenciando refletir sobre estratégias de ensino, organização didática e mediação pedagógica. Nesse sentido, a proposta dialoga diretamente com críticas à fragmentação curricular e à predominância de abordagens bacharelescas na licenciatura em Física, discutidas por autores como Nardi e Pierson (2001) e Gatti (2010). A utilização da modelagem científica, da UEPS e dos 3MPs contribui para uma formação mais crítica, reflexiva e epistemologicamente consistente.

Outro aspecto relevante refere-se à participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem. A sequência favorece momentos de discussão coletiva, formulação de hipóteses, elaboração de representações conceituais e análise de situações-problema, ampliando o protagonismo discente. Sob essa perspectiva, o estudante deixa de assumir papel passivo diante do conteúdo e passa a participar da construção dos significados relacionados aos fenômenos estudados, em consonância com abordagens contemporâneas do ensino de Ciências e Física.

Entretanto, apesar das potencialidades identificadas, a proposta também apresenta limitações que precisam ser consideradas. No âmbito curricular, destaca-se que o diamagnetismo ainda ocupa espaço reduzido nas disciplinas de graduação em Física, aparecendo frequentemente de forma secundária em conteúdos relacionados ao magnetismo da matéria. Essa limitação curricular pode dificultar a implementação integral da sequência didática, especialmente em disciplinas com carga horária reduzida ou excessivamente voltadas ao formalismo matemático. Como alternativa, sugere-se que a sequência seja adaptada para compor módulos temáticos em disciplinas de Eletromagnetismo ou de Física Geral, substituindo abordagens meramente classificatórias do magnetismo da matéria.

As limitações temporais também constituem um desafio relevante. O desenvolvimento das atividades propostas, especialmente aquelas relacionadas à problematização, construção de mapas conceituais, discussões coletivas e experimentação, demanda tempo didático significativo. Em contextos marcados por currículos extensos e forte pressão pelo cumprimento de programas disciplinares, o professor pode encontrar dificuldades para desenvolver todas as etapas da sequência com a profundidade desejada. Nesse sentido, o desenvolvimento integral da sequência demanda cerca de 14 horas/aulas para a UEPS e 9 horas/aulas para os 3MPs. Para viabilizar sua aplicação, recomenda-se que atividades assíncronas (como videoaulas e leituras) sejam realizadas extraclasse, e que os experimentos sejam conduzidos em formato demonstrativo, reduzindo o tempo de execução.

No campo metodológico, a implementação da proposta exige mediação pedagógica consistente por parte do professor. Estratégias fundamentadas em UEPS, 3MPs e modelagem científica requerem planejamento cuidadoso, domínio conceitual do conteúdo e compreensão dos referenciais teóricos utilizados. Assim, professores pouco familiarizados com abordagens investigativas ou com aprendizagem significativa podem enfrentar dificuldades na condução das atividades e na análise dos processos de aprendizagem dos estudantes. Como forma de minimizar essas dificuldades, recomenda-se a realização de ações de formação continuada e o desenvolvimento de materiais de apoio que favoreçam a apropriação dos referenciais teóricos e metodológicos que fundamentam a proposta.

Também devem ser consideradas limitações formativas relacionadas à própria formação inicial dos licenciandos. Muitos estudantes ingressam nos cursos de Física trazendo experiências escolares fortemente marcadas por metodologias tradicionais e resolução mecânica de exercícios. Nesse contexto, abordagens baseadas em modelagem, problematização e construção ativa do conhecimento podem inicialmente gerar estranhamento ou dificuldades de adaptação. Para enfrentar esse desafio, recomenda-se que a implementação da sequência ocorra de forma gradual, com mediação docente que favoreça a participação ativa dos estudantes e a construção progressiva de novas formas de compreender e produzir conhecimento científico.

As limitações estruturais igualmente merecem atenção, sobretudo no que se refere à disponibilidade de recursos tecnológicos e experimentais necessários à implementação da proposta. A utilização de vídeos, projetores, materiais experimentais e acesso à internet pode não ocorrer de maneira homogênea em todos os contextos institucionais, especialmente em cursos com infraestrutura limitada. Nesses casos, a proposta pode ser adaptada às condições locais, mediante a utilização de recursos didáticos alternativos, materiais de baixo custo e atividades que preservem os objetivos pedagógicos da sequência, mesmo diante de restrições de infraestrutura.

Por fim, destacam-se também limitações epistemológicas associadas à necessidade de simplificação conceitual do diamagnetismo para fins didáticos. Embora a proposta busque apresentar fundamentos microscópicos e históricos do fenômeno, determinados aspectos relacionados à Mecânica Quântica e à formulação matemática avançada do magnetismo da matéria são necessariamente tratados de forma introdutória. Essa simplificação, embora pedagogicamente necessária no contexto da formação inicial, pode restringir a profundidade teórica da abordagem. Como forma de enfrentar essa limitação, recomenda-se que a sequência didática seja articulada também a disciplinas mais avançadas do currículo de Física e complementada por leituras e discussões que permitam o aprofundamento progressivo dos modelos teóricos e matemáticos envolvidos no estudo do magnetismo da matéria.

Apesar dessas limitações, considera-se que a proposta pode apresentar potencial significativo para contribuir com o ensino do diamagnetismo na formação inicial de professores de Física, especialmente ao integrar aprendizagem significativa, problematização e modelagem científica em uma perspectiva pedagógica voltada à construção conceitual e à reflexão crítica sobre o ensino de Física. Nesse sentido, tais limitações constituem oportunidades para o aperfeiçoamento da sequência didática e para sua avaliação empírica em diferentes contextos de formação inicial de professores de Física.

Desse modo, embora a sequência didática ainda não tenha sido aplicada em contexto educacional específico, a análise teórica realizada indica que sua estrutura apresenta potencial para promover processos de aprendizagem significativa e favorecer a compreensão conceitual do tema. Além disso, sua inserção no contexto da formação inicial de professores de Física pode contribuir para superar a predominância de abordagens excessivamente conteudistas e formalistas ainda presentes em muitas licenciaturas, aproximando os licenciandos de práticas pedagógicas mais reflexivas, investigativas e contextualizadas. Dessa forma, a validação empírica da proposta e sua aplicação em diferentes contextos formativos constituem passos fundamentais para o aprofundamento e o fortalecimento das contribuições aqui apresentadas.

Ao articular conhecimentos específicos da Física com referenciais didático-metodológicos como a UEPS, os Três Momentos Pedagógicos e a modelagem científica, a proposta favorece não apenas a aprendizagem conceitual do diamagnetismo, mas também a construção de uma formação docente mais crítica, reflexiva e epistemologicamente fundamentada. Essa integração possibilita que o licenciando compreenda o ensino de Física para além da simples transmissão de conteúdos, reconhecendo a importância da problematização, da mediação pedagógica e da construção ativa do conhecimento científico. Nesse processo, o futuro professor amplia sua capacidade de planejar intervenções didáticas mais significativas, contextualizadas e coerentes com a natureza da Ciência, fortalecendo sua autonomia pedagógica e contribuindo para o desenvolvimento de sua identidade profissional docente (Tardif, 2014). Estudos futuros poderão investigar empiricamente a aplicação dessa sequência em contextos de formação de professores, permitindo avaliar de forma mais sistemática seus impactos no processo de ensino e aprendizagem.

8. CONCLUSÃO

O desenvolvimento dos estudos sobre magnetismo e suas propriedades contribuiu significativamente para a compreensão de diferentes comportamentos magnéticos da matéria, dando origem a inúmeros trabalhos ao longo da história da Física. Entretanto, observa-se que, tanto na literatura didática quanto no ensino formal, maior atenção costuma ser dedicada ao ferromagnetismo e ao paramagnetismo, enquanto o diamagnetismo recebe menor destaque. Esse cenário pode ser observado especialmente nas graduações em Física, nos quais o tema raramente é abordado de forma sistemática. Mesmo em disciplinas de Física presentes em cursos de graduação, as propriedades diamagnéticas da matéria tendem a ser tratadas de maneira breve, muitas vezes sem uma abordagem conceitual mais aprofundada ou articulada a estratégias didáticas baseadas em modelagem científica.

Diante dessa lacuna, o presente trabalho propôs o desenvolvimento de uma sequência didática que possibilita abordar o diamagnetismo de forma mais acessível e conceitualmente significativa para os estudantes. A proposta prioriza a análise das interações entre diferentes materiais e um campo magnético externo, enfatizando aspectos qualitativos do fenômeno sem recorrer, inicialmente, a formalismos matemáticos mais complexos. Dessa forma, busca-se evidenciar que nem todos os materiais metálicos apresentam forte atração por ímãs e que, em determinadas situações, podem ocorrer interações fracas de atração ou repulsão associadas às propriedades magnéticas da matéria.

Nesse contexto, a realização de atividades experimentais demonstrativas pode contribuir para a compreensão dessas interações, especialmente no que se refere ao comportamento diamagnético. Historicamente, a realização de experimentos relacionados ao diamagnetismo apresentava dificuldades, sobretudo devido à limitação de dispositivos capazes de produzir campos magnéticos suficientemente intensos. Atualmente, entretanto, a disponibilidade de ímãs de neodímio, que podem gerar campos magnéticos da ordem de 1T — significativamente mais intensos que aqueles produzidos por ímãs de ferrite — possibilita a realização de experimentos didáticos capazes de evidenciar qualitativamente o fenômeno do diamagnetismo em contextos educacionais.

Além disso, a elaboração de sequências didáticas fundamentadas em abordagens pedagógicas como as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas e os Três Momentos Pedagógicos pode contribuir para a promoção de um processo de ensino-aprendizagem mais significativo. Tais abordagens favorecem a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento, ao mesmo tempo em que atribuem ao professor o papel de mediador no desenvolvimento das atividades. Dessa forma, a adoção de estratégias didáticas que integrem experimentação, discussão conceitual e modelagem científica pode ampliar as possibilidades de compreensão dos fenômenos físicos e contribuir para uma formação mais crítica e reflexiva no ensino de Física.

Este estudo, por sua vez, apresentou a elaboração e análise de uma sequência didática voltada ao ensino do diamagnetismo da matéria fundamentada nos pressupostos da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa e na abordagem dos Três Momentos Pedagógicos, concebida como resposta ao problema da

escassez de pesquisas envolvendo o tema e de como é possível contribuir para a compreensão conceitual do diamagnetismo na formação de professores de Física. Como contribuição, o trabalho propõe uma organização didática que busca favorecer a compreensão conceitual desse tema no contexto da formação inicial de professores de Física, articulando aspectos conceituais da Física com referenciais pedagógicos consolidados na área de ensino de Física/Ciências.

Como implicação educacional, o estudo evidencia a necessidade de que a formação inicial de professores de Física ultrapasse a centralidade tradicionalmente atribuída ao domínio técnico e matemático dos conteúdos, incorporando de forma mais consistente dimensões pedagógicas, epistemológicas e investigativas do ensino. A proposta apresentada reforça que o trabalho com temas como o diamagnetismo pode constituir uma oportunidade formativa relevante quando articulado a estratégias que promovam a problematização, a modelagem científica e a aprendizagem significativa. Nesse sentido, a inserção de sequências didáticas fundamentadas na UEPS e nos Três Momentos Pedagógicos contribui para que o licenciando desenvolva não apenas maior compreensão conceitual dos fenômenos físicos, mas também competências relacionadas ao planejamento pedagógico, à mediação da aprendizagem e à reflexão crítica sobre sua futura prática docente, fortalecendo sua identidade profissional e sua atuação no ensino de Física.

Do ponto de vista curricular, o estudo também reforça a necessidade de repensar a organização da formação inicial de professores de Física, especialmente diante de processos de esvaziamento conceitual e da predominância de abordagens excessivamente instrumentais ainda presentes em muitas licenciaturas. A valorização de temas como o diamagnetismo, frequentemente pouco explorados nos currículos tradicionais, contribui para ampliar o repertório conceitual dos licenciandos e fortalecer uma compreensão mais integrada da Física como campo de conhecimento. Conforme destaca Lima (2022), a defesa de um currículo estruturado em torno de ideias fundamentais e do conhecimento poderoso permite superar a fragmentação curricular e promover uma formação mais crítica e emancipatória. Assim, a proposta apresentada neste trabalho não se limita a uma estratégia didática pontual, mas também se constitui como uma intervenção curricular relevante para o fortalecimento da formação docente em Física.

Desse modo, a resposta ao problema de pesquisa apresentado se concretiza na proposição de um dispositivo didático teoricamente consistente, cujo potencial reside na promoção de uma aprendizagem conceitual mais estruturada e epistemologicamente alinhada à prática científica.

Como implicação, em particular, para o ensino de Física, evidencia-se a centralidade de abordagens integradoras que assumam a modelagem como eixo estruturante do processo de ensino-aprendizagem, contribuindo para o desenvolvimento do pensamento científico e para a qualificação das práticas pedagógicas no ensino superior, e, conseqüentemente, na formação de professores de Física, que valorizem a problematização, a construção progressiva de conceitos e a aplicação do conhecimento em diferentes contextos. Além disso, destaca-se que a sequência didática apresentada constitui uma proposta inicial, cuja aplicação em contextos reais de ensino poderá oferecer evidências mais robustas acerca de seu potencial formativo.

Os resultados deste estudo também permitem estabelecer um diálogo consistente com pesquisas da área de formação de professores, ao evidenciar que a inserção de propostas didáticas fundamentadas pode contribuir para enfrentar limitações historicamente identificadas nas licenciaturas em Física, como a dissociação entre teoria e prática e a centralidade excessiva nos conteúdos disciplinares. Ao propor uma abordagem que integra conhecimentos específicos da Física a referenciais pedagógicos consolidados, o trabalho reforça a importância de uma formação inicial que promova não apenas o domínio conceitual, mas também o desenvolvimento de competências relacionadas à mediação didática, à problematização e à construção do conhecimento. Dessa forma, a proposta amplia seu alcance ao se constituir não apenas como uma estratégia de ensino de um conteúdo específico, mas como um dispositivo formativo que dialoga com as demandas contemporâneas da formação de professores de Física. Assim, pesquisas futuras poderão investigar a implementação dessa sequência em cursos de licenciatura em Física, analisando seus impactos na aprendizagem conceitual dos estudantes e na formação pedagógica de futuros professores.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Editor-Chefe da Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Física, Prof. Dr. Luís Gomes de Lima, pela atenção e dedicação durante a condução do processo editorial. Agradecem, igualmente, aos avaliadores *ad hoc* pela leitura criteriosa, pelas sugestões construtivas e pelas relevantes contribuições, que favoreceram o aperfeiçoamento teórico, metodológico e textual deste artigo.

REFERÊNCIAS

- André, M. (2013). O que é um estudo de caso qualitativo em educação? *Revista da FAEEDBA - Educação e Contemporaneidade*, 22(40), 95–103. <https://doi.org/10.21879/faeeba2358-0194.2013.v22.n40.p95-103>
- Barros, A. E. A., & Barreto, P. G. (2018). *Eletromagnetismo: principais materiais magnéticos* (1ª ed.). Editora Érica Cupertino Gomes.
- Bassalo, J. M. F. (1994). *Crônicas da física*. EDUFPA.
- Bassalo, J. M. F. (2007). *Eletrodinâmica clássica*. Editora Livraria da Física.
- Bonfim, D. D. S., Costa, P. C. F., & Nascimento, W. J. (2018). A abordagem dos três momentos pedagógicos no estudo de velocidade escalar média. *Experiências em Ensino de Ciências*, 13(1), 187–197. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/224>
- Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2008). A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. *Física na Escola*, 9(1), 10–14. <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol9/Num1/modelagem.pdf>
- Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2011). A modelagem científica vista como um campo conceitual. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(3), 507–545. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p507>
- Bunge, M. (1973). *Philosophy of physics*. Springer.
- Carmona, H. A. (2000). Levitação magnética. *Física na Escola*, 1(1), 18–20. <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol1/Num1/artigo6.pdf>
- Carneiro, A. A. O., Touse, A. T., & Baffa, O. (2003). Avaliação da susceptibilidade magnética usando uma balança analítica. *Química Nova*, 26(6), 952–956. <https://www.scielo.br/j/qn/a/FZXQvrvQsDSs9CwGr9p9tvL/>
- Carvalho, A. M. P., & Gil-Pérez, D. (2011). *Formação de professores de ciências: Tendências e inovações* (10ª ed.). Cortez.
- Delizoicov, D. (2002). Problemas e problematizações. In M. Pietrocola (Ed.), *Ensino de física? Conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Editora da UFSC.
- Delizoicov, D., & Angotti, J. A. (1990). *Metodologia do ensino de ciências*. Cortez.
- Delizoicov, D., Angotti, J. A., & Pernambuco, M. M. C. A. (2002). *Ensino de ciências: Fundamentos e métodos* (3ª ed.). Cortez.
- Ferreira, N. S. A. (2002). As pesquisas denominadas “estado da arte”. *Educação & Sociedade*, 23(79), 257–272.
- Flick, U. (2009). *Introdução à pesquisa qualitativa*. Artmed.
- Freire, P. (1987). *Pedagogia do oprimido* (17ª ed.). Paz e Terra.
- Gatti, B. A. (2010). Formação de professores no Brasil: características e problemas. *Educação & Sociedade*, 31(113), 1355–1379. <https://doi.org/10.1590/S0101-73302010000400016>
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. Atlas.
- Griffiths, D. J. (2013). *Introduction to electrodynamics* (4th ed.). Pearson.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2016). *Fundamentos de física: Eletromagnetismo* (10ª ed., Vol. 3). LTC.
- Heidemann, L. A., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2016). Modelagem didático-científica: Integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(1), 3–32. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n1p3>

- Heidemann, L. A., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2017). Um estudo de caso explanatório sobre o desenvolvimento de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica para o ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 10(3), 379–405. <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/5672>
- Heidemann, L. A., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2018). Dificuldades e avanços no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica: Um estudo de caso em uma disciplina de Física Experimental. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(2), 352–382. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/933>
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440–454. <https://doi.org/10.1119/1.15129>
- Hestenes, D. (2006). Notes for a modeling theory of science, cognition and instruction. In *Proceedings GIREP Conference: Modelling in Physics and Physics Education* (pp. 34–65). University of Amsterdam. http://modeling.asu.edu/R&E/Notes_on_Modeling_Theory.pdf
- Jackson, R. (2015). John Tyndall and the early history of diamagnetism. *Annals of Science*, 72(4), 435–489. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00033790.2014.929743>
- Kittel, C., Knight, W. D., & Ruderman, M. A. (1973). Curso de física de Berkeley: Mecânica (Vol. 1). Edgard Blücher.
- Lima, L. G. de. (2022). Conhecimento poderoso e ideias fundamentais: Uma proposta de currículo em espiral para a Física escolar. *Caderno de Física da UEFS*, 20(2), 2301.1–2301.28. <https://doi.org/10.13102/cadfsuefs.v20i02.9300>
- Machado, K. D. (2002). *Teoria do eletromagnetismo* (Vol. 2). Editora UEPG.
- Marengão, L. S. L. (2012). *Os três momentos pedagógicos e a elaboração de problemas de física pelos estudantes* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás]. <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/561>
- Marques, G. C. (2016a). *Eletromagnetismo – Tema 23 – Diamagnetismo – Aula 1/5 – Descrição microscópica* [Vídeo]. e-Aulas USP. <https://eaulas.usp.br/portal/video.action?itemId=6129>
- Marques, G. C. (2016b). *Eletromagnetismo – Tema 23 – Diamagnetismo – Aula 2/5 – Teoria de Weber* [Vídeo]. e-Aulas USP. <https://eaulas.usp.br/portal/video?itemId=6131>
- Marques, G. C. (2016c). *Eletromagnetismo – Tema 23 – Diamagnetismo – Aula 3/5 – Movimento de precessão* [Vídeo]. e-Aulas USP. <https://eaulas.usp.br/portal/video?itemId=6133>
- Marques, G. C. (2016d). *Eletromagnetismo – Tema 23 – Diamagnetismo – Aula 4/5 – Teoria de Langevin* [Vídeo]. e-Aulas USP. <https://eaulas.usp.br/portal/video?itemId=6135>
- Marques, G. C. (2016e). *Eletromagnetismo – Tema 23 – Diamagnetismo – Aula 5/5 – Comentários* [Vídeo]. e-Aulas USP. <https://eaulas.usp.br/portal/video?itemId=6137>
- Morais, C. I. F., & Moreira, A. P. A. (2019). Supercondutividade: Aplicação em veículos de levitação magnética. *Revista Tecnologia*, 40(2). <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/9183>
- Moreira, M. A. (2011). Unidades de enseñanza potencialmente significativas. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43–63. http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf
- Moreira, M. A. (2014). Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: Aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 7(2), 1–20. <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/2037>
- Moreira, M. A. (2017). Grandes desafios para o ensino da Física na educação contemporânea. *Revista do Professor de Física*, 1(1), 1–13. <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>
- Moreira, M. A. (2021a). Desafios no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43(Supl. 1), e20200451. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>

- Moreira, M. A. (2021b). Ensino de ciências: Críticas e desafios. *Experiências em Ensino de Ciências*, 16(2), 1–10. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/910>
- Nardi, R., & Pierson, A. H. C. (2001). A licenciatura em Física e a formação de professores: Dilemas e perspectivas. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(3), 321–339.
- Nóvoa, A. (1992). Formação de professores e profissão docente. In A. Nóvoa (Ed.), *Os professores e sua formação* (pp. 13–33). Dom Quixote.
- Ribeiro, G. A. P. (2000). As propriedades magnéticas da matéria: Um primeiro contato. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22(3), 299–305. http://www.sbfisica.org.br/rbepf/pdf/v22_299.pdf
- Santana, I. L. (2021). *Propostas de sequências didáticas para a ensinagem de conceitos do diamagnetismo da matéria* [Monografia de graduação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia].
- Santana, I. L., & Castro, L. M. (2021). Uma proposta de sequência de ensino-aprendizagem do diamagnetismo via unidade de ensino potencialmente significativa. In *Anais da VI Semana de Física da UESB – Curso de Licenciatura em Física da UESB: Educação, cidadania e desenvolvimento regional em 20 anos de história* (Vol. 1, p. 16). Ed. do Autor.
- Santana, I. L., & Castro, L. M. (2021). Diamagnetismo da matéria numa perspectiva de ensino-aprendizagem: Proposta de sequência didática a partir dos Três Momentos Pedagógicos. In *Anais da VI Semana de Física da UESB – Curso de Licenciatura em Física da UESB: Educação, cidadania e desenvolvimento regional em 20 anos de história* (Vol. 1, p. 10). Ed. do Autor. <https://doity.com.br/vi-semana-de-fisica>
- Santos, E. C., Misucuchi Filho, M. T., Galli, P. H. M., Andrade Junior, R., & Reis, E. A. P. (2017). Cerâmicas supercondutoras: Características e aplicações. In *Anais do Encontro de Iniciação Científica (ETIC)* (pp. 1–13). <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/6395>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2013). *Metodologia da pesquisa*. McGraw-Hill.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo* (8ª ed., Vol. 3). Cengage Learning.
- Silva, C. B. C., Dorneles, P. F. T., & Heidemann, L. A. (2020). Um estudo sobre indícios de aprendizagem significativa em atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica no ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, 15(3), 166–187. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/777>
- Sousa, J. A. (2021). *A termodinâmica de materiais ferromagnéticos* [Monografia de graduação, Pontifícia Universidade Católica de Goiás]. <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/1664>
- Tardif, M. (2014). *Saberes docentes e formação profissional* (17ª ed.). Vozes.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2009). *Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo, óptica* (6ª ed., Vol. 2). LTC.
- Weber, W. E. (2011). *Wilhelm Weber: obras sobre eletrodinâmica, diamagnetismo e eletromagnetismo* (A. K. T. Assis, Trad., Vol. 3). Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul.