

**ENTRE RÁDIO, WI-FI E LUZ VISÍVEL: O ENSINO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS
NO ENSINO MÉDIO COM ABORDAGEM INVESTIGATIVA**

**BETWEEN RADIO, WI-FI AND VISIBLE LIGHT: TEACHING ELECTROMAGNETIC
WAVES IN HIGH SCHOOL THROUGH AN INQUIRY-BASED APPROACH**

**ENTRE RADIO, WI-FI Y LUZ VISIBLE: LA ENSEÑANZA DE LAS ONDAS
ELECTROMAGNÉTICAS EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA DESDE UN ENFOQUE
INVESTIGATIVO**

 <https://doi.org/10.56238/arev8n3-068>

Data de submissão: 15/02/2026

Data de publicação: 15/03/2026

Tiago Martins Moura

Doutorando em Ensino

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
(IFRN)

E-mail: tiagomartins@uern.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-6530-9530>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5973953696152510>

Cristiane de Carvalho Ferreira Lima Moura

Doutora em Ensino de Ciências e Matemática

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

E-mail: cristianecarvalho@ufersa.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0988-3623>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3795214129484005>

Maria Goretti Silva

Mestra em Educação

Instituição: Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

E-mail: goretti@ufersa.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-1634-9771>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5377779592860241>

Natália Rocha Celedonio

Doutoranda em Ensino

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
(IFRN)

E-mail: nataliarocha@ufersa.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-1212-5949>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3321690740706983>

Lidiane Martins Moura Ferreira

Doutora em Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

E-mail: lidiane.martins@ufersa.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1125-524X>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0074391587319803>

RESUMO

A permanência de práticas tradicionais no ensino de Física, ainda centradas na transmissão de conteúdos e na aplicação mecânica de fórmulas, dificulta a compreensão conceitual de temas como ondas eletromagnéticas no Ensino Médio. Considerando as orientações da Base Nacional Comum Curricular e a necessidade de abordagens que promovam problematização, argumentação científica e contextualização, este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta investigativa para o ensino de ondas eletromagnéticas, articulada a elementos da História e Filosofia da Ciência, relações entre Ciências, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação. Trata-se de um estudo de natureza teórico-bibliográfica e propositiva que sistematiza uma organização didática estruturada a partir de uma situação-problema envolvendo rádio, Wi-Fi, celular, micro-ondas e luz visível. A proposta mobiliza conhecimentos prévios, fomenta a formulação e o confronto de hipóteses e conduz à sistematização conceitual da natureza, propagação e aplicações das ondas eletromagnéticas, evidenciando relações entre frequência, comprimento de onda e energia. Como resultado, delinea-se uma organização didática viável ao contexto escolar capaz de favorecer a compreensão das interações entre radiação e matéria e das diferentes regiões do espectro eletromagnético. Conclui-se que a abordagem investigativa, integrada a recursos digitais e à avaliação formativa, contribui para uma aprendizagem mais significativa, crítica e coerente com as diretrizes curriculares vigentes.

Palavras-chave: Ensino de Física. Ondas Eletromagnéticas. Ensino Médio. Abordagem Investigativa. História e Filosofia da Ciência.

ABSTRACT

The persistence of traditional practices in Physics education, still centered on content transmission and the mechanical application of formulas, hinders the conceptual understanding of topics such as electromagnetic waves in High School. Considering the guidelines of the Brazilian National Common Curricular Base (BNCC) and the need for approaches that promote problematization, scientific argumentation, and contextualization, this article aims to present an inquiry-based proposal for teaching electromagnetic waves articulated with elements from the History and Philosophy of Science, the relations between Science, Technology, Society and Environment, and Digital Information and Communication Technologies. This study is theoretical- bibliographic and propositional in nature, systematizing a didactic organization structured around a problem situation involving radio, Wi-Fi, mobile phones, microwave ovens, and visible light. The proposal mobilizes prior knowledge, encourages the formulation and confrontation of hypotheses, and leads to the conceptual systematization of the nature, propagation, and applications of electromagnetic waves, highlighting relationships between frequency, wavelength, and energy. As a result, a didactic organization suitable for the school context is outlined, capable of fostering the understanding of interactions between radiation and matter as well as the different regions of the electromagnetic spectrum. It is concluded that the inquiry-based approach, integrated with digital resources and formative assessment, contributes to more meaningful and critical learning aligned with current curricular guidelines.

Keywords: Physics Education. Electromagnetic Waves. High School. Inquiry-Based Approach. History and Philosophy of Science.

RESUMEN

La persistencia de prácticas tradicionales en la enseñanza de la Física, aún centradas en la transmisión de contenidos y en la aplicación mecánica de fórmulas, dificulta la comprensión conceptual de temas como las ondas electromagnéticas en la Educación Secundaria. Considerando las orientaciones de la Base Nacional Común Curricular de Brasil (BNCC) y la necesidad de enfoques que promuevan la problematización, la argumentación científica y la contextualización, este artículo tiene como objetivo presentar una propuesta investigativa para la enseñanza de las ondas electromagnéticas articulada con elementos de la Historia y Filosofía de la Ciencia, las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente, y las Tecnologías Digitales de la Información y la Comunicación. Se trata de un estudio de carácter teórico-bibliográfico y propositivo que sistematiza una organización didáctica estructurada a partir de una situación- problema relacionada con radio, Wi-Fi, teléfonos móviles, hornos microondas y luz visible. La propuesta moviliza conocimientos previos, fomenta la formulación y confrontación de hipótesis y conduce a la sistematización conceptual de la naturaleza, propagación y aplicaciones de las ondas electromagnéticas, evidenciando las relaciones entre frecuencia, longitud de onda y energía. Como resultado, se delimita una organización didáctica viable para el contexto escolar, capaz de favorecer la comprensión de las interacciones entre radiación y materia y de las diferentes regiones del espectro electromagnético. Se concluye que el enfoque investigativo, integrado con recursos digitales y evaluación formativa, contribuye a un aprendizaje más significativo y crítico, coherente con las directrices curriculares vigentes.

Palabras clave: Enseñanza de la Física. Ondas Electromagnéticas. Educación Secundaria. Enfoque Investigativo. Historia y Filosofía de la Ciencia.

1 INTRODUÇÃO

Em um cenário social marcado pela circulação intensa de informações, tecnologias de comunicação sem fio, sistemas de navegação, sensoriamento remoto, fornos de micro-ondas, telefonia móvel e redes Wi-Fi, a compreensão das ondas eletromagnéticas assume papel central na formação científica escolar. Apesar disso, o tratamento desse conteúdo no Ensino Médio ainda costuma ocorrer fragmentadamente, excessivamente expositivo ou restrito à apresentação de definições e fórmulas, dificultando que os estudantes compreendam a unidade física do fenômeno e suas múltiplas manifestações tecnológicas.

Esse quadro não pode ser dissociado de um problema educacional mais amplo. Embora a escola tenha se constituído historicamente como espaço de socialização do conhecimento, ainda persistem práticas centradas na transmissão mecânica e descontextualizada de conteúdos com reduzida participação discente e pouca valorização dos saberes prévios (Vygotsky, 1987; Ausubel, 1985). Tal modelo é criticado por Rubem Alves (2010) por limitar a curiosidade e o engajamento, aproximando-se daquilo que Freire (1968) denominou educação bancária, caracterizada por relações pedagógicas verticais e pela fragilização da problematização como princípio formativo.

No campo do Ensino de Física, esse modo de ensinar frequentemente resulta em abordagens que privilegiam a memorização de conceitos e relações matemáticas em detrimento da compreensão conceitual dos fenômenos. Em contraposição a essa lógica, pesquisas da área têm defendido metodologias mais alinhadas às demandas contemporâneas, valorizando participação ativa, investigação, argumentação e construção significativa do conhecimento (Nardi, 2001; Moran, 2000). Nessa perspectiva, a aprendizagem deixa de se restringir à reprodução de informações e envolve a elaboração de explicações, o confronto de hipóteses e a interpretação crítica de situações concretas.

As orientações legais e curriculares brasileiras reforçam essa direção. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) defendem uma educação de qualidade, inclusiva e contextualizada, voltada ao desenvolvimento integral dos estudantes (Brasil, 1996; Brasil, 2018). No âmbito das Ciências da Natureza, a BNCC enfatiza a investigação de fenômenos, a argumentação baseada em evidências e a compreensão das relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), exigindo um ensino de Física comprometido com a interpretação do mundo e com o uso crítico do conhecimento científico.

É nesse contexto que o ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio se mostra particularmente relevante. Trata-se de um conteúdo estruturante para compreender a natureza e a propagação da radiação eletromagnética, a integração entre campos elétricos e magnéticos, a organização do espectro eletromagnético e a base física de inúmeras tecnologias presentes no

cotidiano. Quando trabalhado de modo contextualizado, esse tema permite articular conceitos científicos a problemas concretos, como o funcionamento do rádio, Wi-Fi, telefonia móvel, forno de micro-ondas e da luz visível, favorecendo o desenvolvimento de competências relacionadas à análise crítica, à argumentação científica e à leitura do mundo tecnocientífico.

Entretanto, a relevância do tema contrasta com dificuldades recorrentes observadas em seu tratamento escolar. Não raramente, as ondas eletromagnéticas são ensinadas de forma compartimentalizada, como se rádio, micro-ondas, luz visível e outras faixas do espectro fossem fenômenos independentes entre si, quando, na verdade, compartilham a mesma natureza física. Além disso, a ênfase excessiva em classificações, fórmulas e nomenclaturas pode obscurecer questões centrais, como a relação entre frequência, comprimento de onda, energia e aplicação tecnológica, assim como o percurso histórico e epistemológico que levou à consolidação desse campo de conhecimento.

Nesse sentido, a articulação entre abordagem investigativa, elementos da História e Filosofia da Ciência (HFC), relações CTSA e uso pedagógico de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) mostra-se promissora para o ensino desse conteúdo. Ao situar os estudantes diante de problemas concretos e tecnologicamente próximos de sua experiência, favorece-se não apenas a construção de significados conceituais, mas também uma compreensão menos dogmática da ciência, entendida como empreendimento histórico, argumentativo e socialmente situado.

Diante dessas considerações, este artigo parte da seguinte questão de pesquisa: de que modo uma proposta investigativa, articulada a elementos da HFC, às relações CTSA e ao uso pedagógico de TDICs, pode favorecer a compreensão conceitual de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio a partir de uma situação-problema contextualizada?

Em consonância com essa questão, o objetivo deste trabalho é apresentar e sistematizar uma proposta investigativa para o ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio, estruturada a partir de uma situação-problema contextualizada e orientada pela mobilização de conhecimentos prévios, pela formulação e confronto de hipóteses e pela sistematização conceitual do tema. Busca-se, de modo mais específico, evidenciar como essa organização didática pode contribuir para a compreensão da natureza e da propagação das ondas eletromagnéticas, das relações entre frequência, comprimento de onda e energia e de suas aplicações tecnológicas em consonância com as diretrizes curriculares vigentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O ENSINO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NO ENSINO MÉDIO E SEUS DESAFIOS DIDÁTICOS

O ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio ocupa posição estratégica na formação científica dos estudantes, tanto por sua relevância conceitual quanto por sua presença em múltiplas tecnologias do cotidiano, como rádio, telefonia móvel, redes Wi-Fi, micro-ondas e sistemas ópticos. Apesar disso, esse conteúdo nem sempre é tratado de modo a favorecer a compreensão efetiva de sua unidade física, de sua propagação e de suas aplicações. Em muitas situações escolares, o tema aparece fragmentado em classificações do espectro eletromagnético, fórmulas e nomenclaturas, sem que os estudantes consigam estabelecer relações entre frequência, comprimento de onda, energia e uso tecnológico.

Esse quadro revela um problema didático recorrente no Ensino de Física: a distância entre a formalização científica e a construção de sentidos pelos estudantes. A transposição didática, nesse contexto, não pode ser entendida como mera simplificação do saber científico, mas como reorganização do conhecimento em formas acessíveis e conceitualmente consistentes para o espaço escolar (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002). No caso das ondas eletromagnéticas, isso implica evitar tanto o excesso de abstração quanto o reducionismo das aplicações tecnológicas a exemplos ilustrativos desarticulados do fenômeno físico.

As orientações da BNCC reforçam a necessidade de um ensino comprometido com investigação, argumentação e análise crítica de fenômenos naturais e tecnológicos (Brasil, 2018). Nesse sentido, compreender ondas eletromagnéticas não significa apenas reconhecer diferentes regiões do espectro, mas interpretar como uma mesma natureza física se manifesta em contextos diversos. A lacuna central, portanto, não reside apenas na dificuldade matemática do conteúdo, mas na ausência de abordagens que articulem unidade conceitual, historicidade da ciência e relevância social das aplicações tecnológicas.

2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, CONFLITO COGNITIVO E CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADOS

A elaboração de uma proposta didática para o ensino de ondas eletromagnéticas demanda apoio em referenciais que compreendam a aprendizagem como processo ativo de construção de significados. Ausubel (1985) destaca que a aprendizagem se torna significativa quando novas informações se relacionam, de modo não arbitrário, aos conhecimentos prévios do estudante. Tal perspectiva é especialmente importante em conteúdos que envolvem abstração e múltiplas

representações, como frequência, campo, propagação e espectro.

Piaget (1998) contribui ao enfatizar os processos de assimilação e acomodação, compreendendo o desenvolvimento cognitivo como movimento de desequilíbrio e reequilíbrio. Em termos didáticos, isso significa reconhecer que os estudantes não chegam à sala de aula como “tábulas rasas”, mas com interpretações já constituídas sobre luz, comunicação sem fio e transmissão de energia, interpretações essas que precisam ser tensionadas para que novos modelos explicativos sejam incorporados. Vygotsky (1987), por sua vez, destaca o papel da mediação social e da linguagem, ressaltando que a construção do conhecimento ocorre em interação e que a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) constitui espaço privilegiado para o avanço conceitual.

Essas contribuições convergem para a ideia de que aprender implica estabelecer relações e reconstruir explicações à luz de novas evidências e mediações e não apenas reter definições. Como assinala Resnick (1983), a aprendizagem em Ciências ganha densidade quando o estudante é levado a pensar, comparar, justificar e reorganizar suas ideias. No ensino de ondas eletromagnéticas, isso é decisivo para superar compreensões fragmentadas e favorecer uma percepção mais integrada do fenômeno, articulando natureza física, propagação e aplicações tecnológicas.

2.3 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO, HFC, CTSA E TDICs

No plano metodológico, o ensino por investigação apresenta-se como alternativa consistente às abordagens estritamente expositivas. Gil-Pérez (1993) e Cachapuz et al. (2005) defendem propostas centradas em situações-problema que mobilizam conhecimentos prévios, estimulam formular de hipóteses e conduzem à sistematização do conhecimento científico por meio de mediação docente. Nessa perspectiva, o conteúdo deixa de ser apresentado como resposta pronta, sendo construído a partir de perguntas, explicações provisórias e confronto de argumentos.

No caso das ondas eletromagnéticas, essa orientação é particularmente fecunda porque o tema se conecta a fenômenos e artefatos tecnológicos amplamente presentes na vida cotidiana. A investigação sobre rádio, Wi-Fi, micro-ondas e luz visível permite ao estudante perceber que diferentes aplicações derivam de um mesmo campo conceitual, ampliando a coerência interna do conteúdo e reforçando sua significação escolar.

A inserção de elementos da HFC fortalece esse percurso ao mostrar que a compreensão das ondas eletromagnéticas não surgiu linearmente, mas como resultado de elaborações teóricas, previsões, experimentos e reformulações. Tal abordagem contribui para os estudantes reconhecerem a ciência como construção histórica e argumentativa e não como corpo de verdades acabadas. Em diálogo com isso, as relações entre CTSA ampliam o alcance formativo do conteúdo, permitindo

discutir não apenas “como funciona”, mas também “para que serve”, “onde aparece” e “quais impactos produz”.

As TDICs também podem contribuir relevantemente, desde que seu uso esteja subordinado a objetivos pedagógicos claros. Simulações, animações e recursos interativos tendem a favorecer visualização, comparação de variáveis e exploração conceitual, sobretudo em temas cuja abstração dificulta a representação direta do fenômeno. Quando integradas ao ensino investigativo, as TDICs deixam de funcionar como recurso acessório e atuam como instrumento de análise, interpretação e construção de explicações.

2.4 AVALIAÇÃO FORMATIVA, INCLUSÃO E ORGANIZAÇÃO DIDÁTICA

Coerentemente com a perspectiva investigativa, a avaliação não deve limitar-se à verificação final de respostas corretas. Campos e Nigro (1999) defendem uma avaliação integrada ao processo de ensino, capaz de acompanhar avanços, dificuldades e reformulações conceituais. Pozo (2009) reforça esse entendimento ao propor avaliações multidimensionais, contínuas e ancoradas em registros qualitativos, atividades autênticas e sínteses conceituais. Em conteúdos como ondas eletromagnéticas, essa postura é especialmente necessária porque muitas dificuldades não aparecem apenas na resolução de exercícios, mas na explicação do fenômeno e na articulação entre conceitos.

Além disso, uma organização didática coerente com a BNCC precisa considerar a dimensão inclusiva do ensino. Estratégias como trabalho em grupo, uso de múltiplas linguagens, textos de apoio, simulações e momentos de sistematização coletiva favorecem a participação equitativa, desde que o professor planeje intervenções compatíveis com diferentes ritmos, necessidades e formas de aprendizagem (Brasil, 2018). Nesse sentido, a mediação docente assume papel central não apenas na condução conceitual do conteúdo, mas também na garantia de condições para que todos os estudantes possam participar do processo investigativo.

Materiais como os produzidos pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) e orientações recentes do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2024 apontam para a viabilidade de abordagens que integrem contextualização, problematização, elementos da HFC, CTSA e TDICs. Esses elementos, quando articulados, ajudam a deslocar o ensino de ondas eletromagnéticas de uma lógica classificatória e formalista para uma proposta mais significativa, crítica e conceitualmente integrada. É nesse quadro que se ancora a proposta didática desenvolvida neste artigo.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma abordagem qualitativa, adotando-se um delineamento de natureza teórico-bibliográfica e caráter propositivo, voltado à análise e organização de fundamentos conceituais e pedagógicos relacionados ao ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio. A opção pela abordagem qualitativa justifica-se por possibilitar a compreensão e interpretação de fenômenos educacionais à luz de referenciais teóricos e de orientações curriculares que estruturam o ensino de Ciências no contexto da Educação Básica (Gil, 2008).

Segundo Bogdan e Biklen (1994), a pesquisa qualitativa busca compreender processos e significados construídos no contexto educacional, valorizando a interpretação dos fenômenos e a análise das relações estabelecidas entre teoria e prática. Semelhantemente, Lüdke e André (2013) destacam que esse tipo de investigação permite examinar questões educacionais de maneira contextualizada, considerando a complexidade das práticas pedagógicas e das concepções que orientam o processo de ensino e aprendizagem.

No que se refere aos procedimentos metodológicos, foi elaborada uma síntese objetiva na área de Ensino de Ciências e Ensino de Física, com ênfase em estudos que discutem aprendizagem significativa, ensino por investigação, elementos da HFC e relações entre CSTA e TDICs. Essa síntese possibilitou enxergar contribuições teóricas relevantes para a compreensão de práticas pedagógicas voltadas ao ensino de conceitos científicos no contexto da Educação Básica.

Também foram considerados documentos curriculares e orientadores da educação brasileira, especialmente a Base Nacional Comum Curricular que estabelece competências e habilidades relacionadas à área de Ciências da Natureza (Física) e suas Tecnologias, orientando a abordagem de conteúdos científicos em articulação com situações do cotidiano e com o desenvolvimento da argumentação científica (Brasil, 2018).

A partir da análise desses referenciais, procedeu-se à sistematização de uma organização pedagógica voltada à abordagem das ondas eletromagnéticas no Ensino Médio, estruturada em torno de situações presentes no cotidiano dos estudantes, como rádio, redes Wi-Fi, telefonia móvel, fornos de micro-ondas e luz visível. Essa organização busca favorecer a mobilização de conhecimentos prévios, problematização de fenômenos físicos e a construção progressiva de explicações científicas relacionadas à natureza, à propagação e às aplicações das radiações eletromagnéticas.

A análise desenvolvida neste estudo possui caráter interpretativo, uma vez que se fundamenta na articulação entre referenciais teóricos da área de Ensino de Física e orientações curriculares vigentes, buscando discutir possibilidades de abordagem desse conteúdo no contexto escolar. Assim, o trabalho não se configura como uma investigação empírica de campo, mas como um estudo de

caráter analítico e propositivo, cujo propósito é contribuir para a reflexão sobre estratégias pedagógicas capazes de favorecer a compreensão conceitual das ondas eletromagnéticas no Ensino Médio.

Como delimitação do estudo, destaca-se que a proposta discutida neste artigo não foi aplicada em contexto de sala de aula no âmbito desta investigação. Dessa forma, investigações futuras poderão ampliar essa discussão por meio da implementação e análise de práticas pedagógicas relacionadas ao tema, explorando seus possíveis impactos na aprendizagem dos estudantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos referenciais teóricos mobilizados neste estudo permitiu construir uma proposta pedagógica voltada ao ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio, organizada em torno de uma situação-problema contextualizada, da mobilização dos conhecimentos prévios dos estudantes e da sistematização conceitual mediada pelo professor. Por se tratar de uma investigação teórico-bibliográfica e propositiva, os resultados aqui apresentados dizem respeito à explicitação dessa organização pedagógica e à discussão de suas implicações formativas à luz da literatura da área.

4.1 ORGANIZAÇÃO DA PROPOSTA PEDAGÓGICA

A organização proposta parte do pressuposto de que a compreensão das ondas eletromagnéticas não se consolida apenas com a apresentação de definições, classificações e fórmulas. Por isso, o trabalho pedagógico inicia-se com o levantamento das concepções iniciais dos estudantes sobre luz, energia, campos elétricos e magnéticos, frequência, comprimento de onda e transmissão de informações. Esse mapeamento pode ser realizado por meio de um breve pré-teste diagnóstico, de questões abertas ou da leitura orientada de um texto introdutório. O propósito, nessa etapa, não é mensurar desempenho, mas tornar visíveis interpretações já constituídas, muitas vezes associadas à ideia de que rádio, Wi-Fi, celular, micro-ondas e luz visível são fenômenos distintos e sem vínculo conceitual entre si.

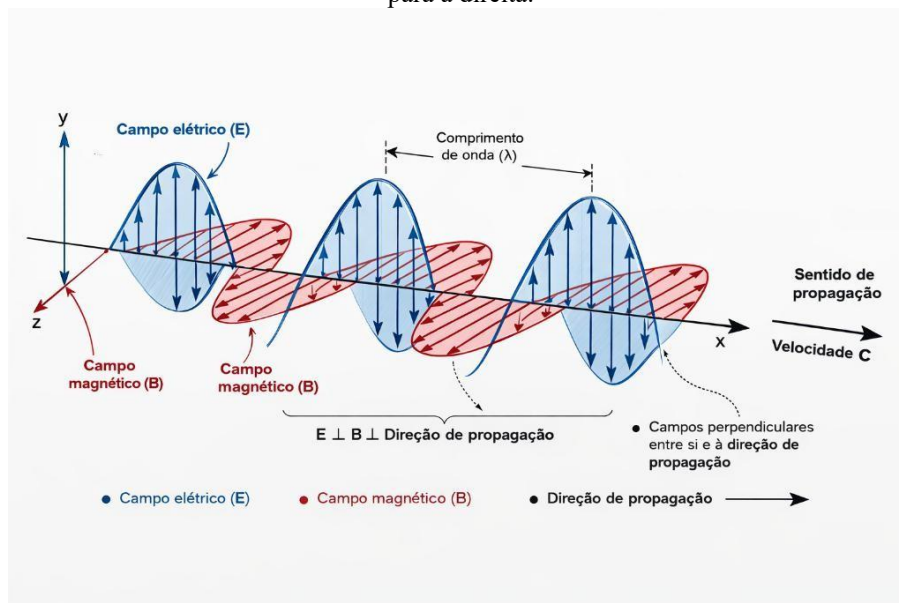
A situação-problema que estrutura a proposta parte exatamente dessa aparente dispersão de fenômenos: sinais de rádio, Wi-Fi e celular permitem transmitir informações sem o uso de fios, micro-ondas aquecem alimentos e a luz visível possibilita a visão. Diante disso, pergunta-se: o que essas radiações têm em comum e por que produzem efeitos distintos? Como a frequência e o comprimento de onda influenciam suas aplicações e suas interações com a matéria? A força dessa problematização reside em deslocar o conteúdo de uma exposição classificatória para um problema conceitual concreto, próximo da experiência cotidiana dos estudantes.

Em pequenos grupos, os alunos discutem a situação, pesquisam e registram hipóteses explicativas. Nesse momento, costumam surgir concepções alternativas que atribuem os diferentes efeitos exclusivamente à “força” ou à “intensidade” da radiação, sem reconhecer a unidade física do fenômeno eletromagnético ou o papel da frequência (f) e do comprimento de onda (λ). A mediação docente passa, então, a ser central. Ao explicitar essas ideias e confrontá-las com argumentos e evidências, o professor cria condições para que o estudante avance de interpretações fragmentadas para uma explicação cientificamente mais consistente, em consonância com o que Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) descrevem como superação de explicações oriundas da experiência cotidiana.

A sistematização conceitual é conduzida por meio de elementos da HFC. Inicialmente, retoma-se o processo de unificação entre eletricidade e magnetismo, destacando as contribuições de Gauss, Faraday e Ampère, culminando na formulação de Maxwell (1865). Ainda que as equações do eletromagnetismo não integrem o currículo do Ensino Médio em sua forma diferencial completa, sua apresentação pode ser feita de modo apenas para contextualizar, mostrando que variações de campos elétricos (E) e magnéticos (B) se propagam no espaço como ondas eletromagnéticas. Nesse ponto, as equações de Maxwell aparecem não como conteúdo a ser formalmente resolvido, mas como marco conceitual que sustenta a interpretação científica do fenômeno.

A partir dessa mediação, as ondas eletromagnéticas passam a ser compreendidas, em linguagem compatível com o Ensino Médio, como oscilações acopladas dos campos elétrico e magnético, perpendiculares entre si e também à direção de propagação, conforme disposta na Figura 1. Diferentemente das ondas mecânicas, não necessitam de meio material para se propagarem, podendo transportar energia e informação no vácuo e em meios materiais. A representação esquemática desse fenômeno pode ser explorada visualmente por meio do apoio didático da Figura 1, indicando que os campos E e B são perpendiculares entre si e a propagação com velocidade c .

Figura 1 – Representação da onda eletromagnética com E e B perpendiculares entre si, deslocando-se com velocidade c para a direita.



Fonte: Autores.

Nessa etapa, torna-se relevante destacar que Maxwell demonstrou que a velocidade de propagação dessas ondas no vácuo é dada por:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1)$$

em que ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo e μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo. Ao se obter $c \approx 3,0 \times 10^8$ m/s, coincidente com a velocidade da luz, possibilita-se compreender por que a luz foi interpretada como uma onda eletromagnética. Esse resultado fornece base para a abordagem de fenômenos como reflexão, refração, difração, interferência e polarização, articulando a teoria eletromagnética às manifestações observáveis da radiação.

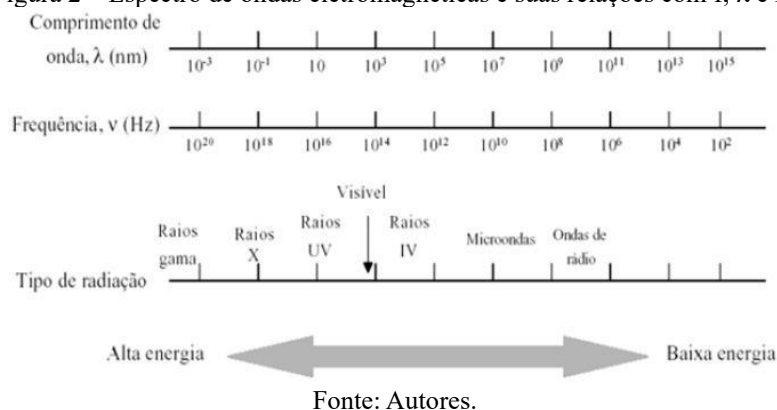
A organização didática avança, então, para a caracterização das ondas eletromagnéticas por frequência (f), comprimento de onda (λ) e amplitude (A). A relação de Maxwell

$$c = \lambda f \quad (2)$$

permite mostrar que, no vácuo, f e λ de onda são grandezas inversamente proporcionais. A amplitude, por sua vez, relaciona-se à intensidade da onda. Esses elementos possibilitam introduzir o espectro eletromagnético como conjunto de radiações de mesma natureza física, diferenciadas pelos valores

de f e λ e energia (E). A Figura 2 traz, didaticamente, as relações entre estas três grandezas, favorecendo o entendimento das relações envolvidas no espectro, além da visualização de que raios gama, raios X, ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas e ondas de rádio não constituem fenômenos independentes, mas manifestações distintas de uma mesma entidade física.

Figura 2 – Espectro de ondas eletromagnéticas e suas relações com f , λ e E .



A compreensão do espectro pode ser aprofundada ao se articular o modelo ondulatório clássico com contribuições da Física Moderna. A relação de Maxwell $c = \lambda f$ pode ser aproximada, em diálogo com Planck (1900), pela expressão

$$E = hf \quad (3)$$

e, combinando-se ambas, obtém-se

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (4)$$

o que permite compreender que radiações de maior f e menor λ transportam maior E . Essa articulação mostra-se didaticamente fecunda porque ajuda a explicar por que diferentes faixas do espectro produzem efeitos distintos e têm aplicações tecnológicas específicas.

Em seguida, a proposta retoma Einstein (1905) e o Efeito Fotoelétrico para mostrar que a interação entre radiação e matéria não pode ser compreendida apenas pelo modelo ondulatório clássico. A equação

$$E = \phi + K_{\max} \quad (5)$$

e sua forma equivalente

$$hf = \phi + K_{\max} \quad (6)$$

permitem evidenciar que a energia da radiação incidente depende da frequência, e não apenas da intensidade. A condição

$$hf \geq \phi \quad (7)$$

define a ocorrência da emissão fotoelétrica e introduz a ideia de frequência de corte

$$f_0 = \frac{\phi}{h} \quad (8)$$

Essa discussão, ainda que breve, contribui para ampliar o horizonte conceitual dos estudantes, mostrando que a radiação eletromagnética também apresenta comportamento corpuscular em determinadas interações.

Esse deslocamento conceitual é aprofundado ao se retomar o experimento de Young (1801), que evidenciou a natureza ondulatória da luz por meio da interferência, e ao articulá-lo às contribuições de De Broglie (1924), segundo o qual toda partícula de quantidade de movimento p associa-se a um comprimento de onda expresso por

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (9)$$

Para partículas não relativísticas, com $p = mv$ (10), obtém-se

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (10)$$

A confirmação experimental dessa hipótese por Davisson e Germer (1927) e a formulação do Princípio da Complementaridade por Bohr (1928) permitem mostrar, de forma sintética, que a compreensão da radiação eletromagnética exige reconhecer a coexistência de descrições ondulatórias

e corpusculares. No contexto do Ensino Médio, essa discussão não precisa ser aprofundada matematicamente, mas pode ser mobilizada para reforçar a ideia de que os modelos científicos são construções históricas e complementares.

Ao final desse percurso, a situação-problema inicial é retomada. Os estudantes passam a reconhecer que rádio, Wi-Fi, celular, micro-ondas e luz visível pertencem ao espectro eletromagnético e compartilham a mesma natureza física, distinguindo-se pelos valores de f , λ e E . Isso explica por que ondas de menor frequência são mais adequadas à transmissão de informações, enquanto radiações de maior frequência interagem de modo distinto com a matéria, como ocorre na faixa visível, que permite a visão, ou na radiação ionizante, utilizada em exames de imagem.

Para consolidar a aprendizagem, a proposta prevê explorar aplicações cotidianas e tecnológicas, como rádio, telefonia móvel, redes Wi-Fi, fornos de micro-ondas, raios X, radiação infravermelha, ultravioleta e comunicação óptica. Essa ampliação reforça as discussões sobre as relações CTSA, ao mostrar que a compreensão científica do conteúdo se articula a usos sociais concretos e a decisões tecnológicas presentes no cotidiano.

Por fim, o uso de TDICs, especialmente simulações interativas como as disponibilizadas pelo PhET, pode aprofundar visualmente a compreensão da propagação das ondas, da oscilação acoplada dos campos E e B e das relações entre f , λ e E . Nessas atividades, os estudantes exploram diferentes regiões do espectro e analisam suas interações com a matéria, fortalecendo a interpretação conceitual do fenômeno e evitando uma abordagem meramente algorítmica.

4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS À LUZ DA LITERATURA

A organização pedagógica delineada neste estudo evidencia convergência com os referenciais discutidos anteriormente, sobretudo ao assumir que a aprendizagem conceitual depende da mobilização de conhecimentos prévios, do confronto de hipóteses e da mediação docente. Ao partir de um problema tecnológico concreto, a proposta favorece a atribuição de sentido ao conteúdo e rompe com abordagens que apresentam as ondas eletromagnéticas apenas como tema classificatório ou excessivamente matemático. A problematização inicial mostra-se particularmente relevante porque torna visíveis interpretações fragmentadas ou intuitivas, permitindo que a construção do conceito se desenvolva a partir de tensões cognitivas reais. Nesse sentido, a proposta dialoga com perspectivas construtivistas ao reconhecer que o estudante aprende quando reorganiza explicações já existentes e estabelece novas relações conceituais. A formalização matemática, por sua vez, não é eliminada, mas recolocada em seu devido lugar: como linguagem de sistematização e interpretação e não como ponto de partida descontextualizado.

Outro aspecto importante diz respeito ao papel da HFC. Ao incorporar Maxwell, Hertz, Planck, Einstein, Young, De Broglie, Davisson e Germer e Bohr, a proposta ajuda a romper com a imagem de ciência como produto acabado. Em vez de apresentar o conhecimento científico como sequência linear de fórmulas prontas, o percurso evidencia disputas, tensões explicativas e reformulações conceituais, contribuindo para uma compreensão mais histórica e menos dogmática da ciência.

A articulação com as relações CTSA amplia ainda mais o alcance formativo do conteúdo. Ao discutir rádio, micro-ondas, Wi-Fi, celular, luz visível e outras aplicações do espectro, o estudante passa a compreender que as ondas eletromagnéticas não pertencem apenas ao universo escolar, mas estruturam práticas, tecnologias e modos de vida contemporâneos. Essa contextualização reforça a relevância social do conteúdo e o aproxima das competências previstas na BNCC.

As TDICs também assumem função estratégica, desde que utilizadas com intencionalidade pedagógica. Sua contribuição não está em substituir a mediação docente, mas em favorecer visualização, exploração de variáveis e análise de situações que, de outro modo, permaneceriam excessivamente abstratas. Assim, as simulações podem atuar como instrumentos de investigação e não apenas como ilustrações.

Como limitação, é preciso reconhecer que os resultados aqui apresentados decorrem da sistematização teórica de uma proposta pedagógica e não de sua aplicação empírica em contexto escolar. Isso significa que as potencialidades formativas discutidas permanecem fundamentadas na literatura e na coerência interna da organização apresentada, carecendo ainda de validação em sala de aula. Pesquisas futuras poderão examinar sua implementação, seus efeitos sobre a aprendizagem dos estudantes e os desafios concretos da mediação docente.

5 CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo apresentar e sistematizar uma proposta investigativa para o ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio, articulada a elementos da HFC, às relações CTSA e ao uso pedagógico de TDICs. A partir da análise teórico-bibliográfica realizada, foi possível delinear uma organização pedagógica centrada em uma situação-problema contextualizada e voltada à mobilização de conhecimentos prévios, ao confronto de hipóteses e à construção progressiva de explicações científicas sobre a natureza, a propagação e as aplicações das ondas eletromagnéticas.

Os resultados discutidos indicam que essa abordagem contribui para deslocar o ensino do tema de uma lógica excessivamente classificatória ou formalista para uma compreensão mais integrada e significativa. Ao tratar rádio, Wi-Fi, telefonia móvel, micro-ondas e luz visível como manifestações

de uma mesma natureza física, diferenciadas por frequência, comprimento de onda e energia, a proposta favorece construir relações conceituais mais amplas e consistentes. Além disso, a incorporação de elementos da HFC permite situar o conhecimento científico como produção histórica, marcada por elaborações teóricas, confirmações experimentais e reformulações conceituais, ampliando a compreensão dos estudantes sobre a própria natureza da ciência. Do ponto de vista pedagógico, a proposta mostra-se viável para aplicação no contexto escolar por reunir características favoráveis à prática docente: parte de situações próximas à experiência dos estudantes, organiza o conteúdo em torno de questões investigáveis, preserva a coerência conceitual do tema sem exigir formalismo incompatível com o nível de ensino e admite o uso de recursos acessíveis, como textos, discussões em grupo, figuras explicativas e simulações digitais. Soma-se a isso o potencial formativo da avaliação processual que permite acompanhar a evolução das ideias dos estudantes ao longo do percurso.

Em consonância com a BNCC, com o PNLD 2024 e com as Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação docente, a proposta apresentada contribui para um ensino de Física mais contextualizado, argumentativo e intelectualmente formador. Ao favorecer a interpretação crítica de fenômenos e tecnologias do cotidiano, fortalece-se não apenas a aprendizagem conceitual, mas também a autonomia intelectual e a formação científica dos estudantes.

Como limite, reconhece-se que o estudo possui caráter teórico e propositivo, não contemplando aplicação empírica em sala de aula no escopo deste trabalho. Por isso, pesquisas futuras poderão examinar a implementação dessa proposta em contextos escolares concretos, investigando seus efeitos sobre a aprendizagem conceitual, a argumentação científica e a mediação docente. Ainda assim, considera-se que a organização pedagógica aqui sistematizada oferece uma contribuição relevante para o debate sobre o ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio ao indicar caminhos didáticos mais coerentes com as demandas contemporâneas da educação científica.

Em conjunto, os resultados discutidos indicam que o ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio pode ganhar maior coerência conceitual e relevância formativa quando organizado a partir de problematização, mediação intencional, elementos da HFC, relações CTSA e uso criterioso de TDICs. Nessa perspectiva, o conteúdo deixa de ser tratado como conjunto de definições isoladas e constitui campo privilegiado para a construção de explicações científicas mais amplas, conectadas à vida cotidiana, à história da ciência e às tecnologias contemporâneas.

AGRADECIMENTOS

Os(As) autores(as) agradecem à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) e à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), instituições às quais os(as) autores(as) estão vinculados(as) como servidores(as), pelo apoio institucional ao desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, registram agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor e a bolsa de Apoio à Difusão do Conhecimento do CNPq - Nível 1C, da segunda e quarta autora.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Rubem. Conversas com quem gosta de ensinar. 13. ed. Campinas: Papirus, 2010.
- AUSUBEL, David P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 1985.
- BOGDAN, Robert; BIKLEN, Sari. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1996.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF: MEC, 2018.
- CACHAPUZ, Antonio et al. A necessária renovação do ensino de ciências. São Paulo: Cortez, 2005.
- CAMPOS, M. C.; NIGRO, R. G. Didática de ciências: o ensino-aprendizagem como investigação. São Paulo: FTD, 1999.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de ciências: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2002.
- FREIRE, Paulo. Pedagogia do oprimido. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1968.
- GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GIL-PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las Ciencias, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1993.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). Física. v. 1-3. São Paulo: EDUSP, 1993.
- LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. 2. ed. São Paulo: EPU, 2013.
- MORAN, José Manuel. Novas tecnologias e mediação pedagógica. 6. ed. Campinas: Papirus, 2000.
- NARDI, Roberto (org.). Pesquisas em ensino de Física. São Paulo: Escrituras, 2001. PIAGET, Jean. A formação do símbolo na criança. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- POZO, Juan Ignacio. Aprendizes e mestres: a nova cultura da aprendizagem. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- VYGOTSKY, Lev S. A formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes, 1987.