

PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO PARA O ENSINO DE ONDAS NO ENSINO MÉDIO: TEORIA E PRÁTICA

Research Proposal for the Teaching of Waves in High School: Theory and Practice

Deusa Maria Moreira David [caardumi@gmail.com]

Vanessa Carvalho de Andrade [vcandrade@unb.br]

*Universidade de Brasília, Instituto de Física, Programa de Pós-graduação,
Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília - DF, 70910-900.*

Recebido: 18/01/26

Aceito: 31/03/2026

Resumo

A partir da aprendizagem significativa de David Ausubel e do ensino por investigação, este artigo analisa uma proposta didática investigativa com a temática ondulatória. A aplicação ocorreu em uma turma do segundo ano do Ensino Médio da rede pública do Distrito Federal, utilizou como organizador prévio da aprendizagem o uso de simuladores digitais e a investigação experimental com celulares, servindo de ponte cognitiva que ancora os novos conceitos às estruturas mentais já existentes. Metodologicamente, organizados em quatro estratégias didáticas: problematização, conceitualização, investigação e experimentação. A avaliação processual considerou os indícios de aprendizagem significativa demonstrados pelo estudante por meio da participação ativa, expressão oral, escrita e a socialização do conhecimento em grupo. Os resultados das atividades foram observados a partir do desenvolvimento dos conceitos estruturantes (comprimento de ondas, frequência, velocidade e energia) que revelaram indícios de aprendizagem significativa ao coletar dados primários, organizá-los em tabelas, gráficos e discutir os resultados coletivamente. Assim, foi possível concluir que a implementação dos conceitos ondulatórios com o uso de tecnologia são positivas para estruturar conhecimentos difusos, fragmentados, descontextualizados e abstratos, fazendo a transição entre o conhecimento espontâneo para o conhecimento científico formal.

Palavras-chave: Aprendizagem Significativa, Ensino Investigativo, Ondas, Tecnologia.

Abstract

Based on David Ausubel's Meaningful Learning Theory and Inquiry-Based Teaching, this article analyzes an investigative didactic proposition focused on the theme of wave phenomena. The research was conducted with a second-year high school class within Brazil's public school system. Simulators and experimental investigations using smartphones were employed as advanced organizers, serving as cognitive bridges to anchor new concepts to students' existing mental structures. Methodologically, the study was organized into four didactic strategies: problem-posing, conceptualization, investigation, and experimentation. The formative assessment considered signs of meaningful learning demonstrated through active participation, oral and written expression, and group knowledge sharing. The results were observed through the development of core concepts (wavelength, frequency, velocity, and energy), which revealed evidence of meaningful learning as students collected primary data, organized it into tables and graphs, and discussed the findings collectively. Thus, it was concluded that implementing wave concepts through technology is effective

for structuring diffuse, fragmented decontextualized, and abstracts knowledge, facilitating the transition from spontaneous knowledge to formal scientific knowledge.

Keywords: Meaningful Learning, Inquiry-based teaching, Technology, Waves.

Introdução

O estudo dos fenômenos ondulatórios transcende a física clássica, consolidando-se como um eixo interdisciplinar que explica o transporte de energia e da informação no universo. Atualmente, é imprescindível compreender as dinâmicas de propagação de energia e as interações fundamentais da matéria, pois os conceitos ondulatórios constituem o alicerce da ciência moderna, viabilizando o fluxo de informações em tempo real ao converter ondas em dados. Assim, o conhecimento reunido na pesquisa de materiais capazes de fazer conexões com fenômenos invisíveis e a manter os fluxos energéticos constantes ajudam na contextualização da estratégia didática. Desse modo, a ondulatória vem redefinindo as relações socioeconômicas do mundo moderno, ao deixar de ser um tópico isolado para tornar a chave da leitura de sistemas de informação e infraestruturas tecnológicas, do mecanismo das ondas mecânicas, até as complexas tecnologias de transmissão sem fio (ondas eletromagnéticas), essenciais para o desenvolvimento científico.

Diferente da abordagem tradicional, em que os conceitos ondulatórios são apresentados descontextualizados, seguindo as competências gerais da Base Nacional Curricular Comum (Brasil, 2022), procura-se a integração entre a teoria ondulatória e suas repercussões sociotécnicas. Ainda sob essa ótica, a elaboração de estratégias didáticas significativa visa o aprofundamento conceitual utilizando questões que impactam o contexto social do estudante. Nesta perspectiva, o uso de tecnologias para contextualizar os conceitos ondulatórios conectam a aprendizagem formal ao cotidiano do educando, ou seja, o uso de tecnologia atua como âncoras cognitivas na mediação da relação entre os conhecimentos prévios já consolidados pelo indivíduo e o novo conceito a ser aprendido (Ausubel, 1968).

Assim, o uso de simuladores digitais e experimentos com smartphones atua como um organizador prévio (Moreira, 2012). Ao visualizar a ondulação de uma onda em tempo real na tela do computador, o estudante deixa de lidar com uma abstração matemática isolada e passa a confrontar o fenômeno percepções cotidianas, como o uso do sinal de Wi-Fi ou a propagação do som. Entender o funcionamento ondulatório é a oportunidade para superar o ensino excessivamente abstrato, conectando a Física aos saberes do desenvolvimento tecnológico difundidos nos grupos de interação sociais (Canato Jr., 2014). Essa estratégia didática transforma a tecnologia de consumo em uma ferramenta de investigação científica (Carvalho, 2010), servindo de ponte cognitiva entre os conceitos de frequência e comprimento de onda às estruturas mentais já existentes, facilitando, assim, a transição do conhecimento espontâneo para o conhecimento científico formal.

Embora existam inúmeros exemplos de aplicações tecnológicas do conceito de ondas, as estratégias pedagógicas no segundo ano do Ensino Médio, ainda representam um desafio para muitos estudantes, que frequentemente ignoram a relevância da propagação de energia e informação por meio das ondas para a sociedade moderna. Segundo Sasseron (2016), esse desconhecimento decorre de falhas no letramento científico, pois sem compreender o funcionamento da natureza e suas interações, os discentes encontram dificuldades para relacionar conceitos abstratos (como os da ondulatórios) e os eventos concretos (dispositivos como o rádio).

Nessa perspectiva, em virtude dos avanços tecnológicos e das pesquisas científicas no campo da ondulatório, grandes mudanças ocorreram na organização da sociedade, devido a rapidez da circulação da informação em redes, no seu processamento, análise de dados e aplicações práticas nos diversos contextos do cotidiano (Ottoni, 2016). Essa nova dinâmica social demanda das instituições

de ensino a tradução do conhecimento científico dos centros acadêmicos para o ensino escolar (Moreira, 2018). Da mesma forma, no ensino de física, exige-se a implementação de arranjos didáticos dinâmicos, capazes de preparar o estudante para esse novo mundo que se avizinha – complexo, integrado, dependente das pesquisas tecnológicas e do fluxo de processamento das informações. Didaticamente, estamos atrasados na adaptação significativa do planejamento pedagógico ao contexto social (Ferreira et al, 2022). Nesse cenário, a modernização da abordagem didática no ensino de ciências passa pela problematização da realidade e investigação ativa, pelo estudante e sua motivação para resolver problemas complexos (Sasseron, 2018).

Adicionalmente, para que os educandos possam atuar ativamente na compreensão dos fenômenos do dia a dia, participando da elaboração de ideias inovadoras em seus segmentos de atuação e colaborando com as bases do pensamento científico (Sasseron, 2019, p. 3). Desse modo, a proposta do ensino integrado de ondas, com características do ensino por investigação aborda os fenômenos ondulatórios e, conforme preconizam os currículos nacionais as atividades propostas são intermediadas por tecnologias educacionais digitais e, por experimentos de baixo custo que utilizam de equipamentos tecnológicos (Brasil, 2023). Nessa perspectiva, buscou-se o apoio das metodologias ativas no ensino de ciências como forma de elevar o engajamento dos estudantes nas práticas educativas e desenvolvimento do aprendizado significativo (Ausubel, 2000 & Moreira, 1999). Para atingir esse fim, foram consideradas na investigação científica as características, causas e consequências dos fenômenos ondulatórios, bem como a conceitualização necessária para a compreensão completa da ciência envolvida nas aplicações tecnológicas que beneficiam toda a sociedade.

Na **primeira parte**, mencionamos a fundamentação teórica utilizada na sequência didática, onde definimos as abordagens para o desenvolvimento das atividades investigativas, Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1982) e o Ensino por Investigação (Carvalho, 2010; Dewey, 1976 & Sasseron, 2018), bem como as bases instrumentais e metodológicas aplicadas durante a prática investigativa. Na **segunda parte**, o processo de conceitualização do fenômeno natural das ondas, levantamento das estratégias didáticas, questão-problema para gerar o conflito cognitivo, a motivação para descobrir a natureza das ondas. Em sequência, a implementação de atividades didáticas investigativas utilizando tecnologia (simuladores de ondas), a fim de explorar as características e propriedades ondulatórias das ondas mecânicas. Na **terceira parte**, a análise das estratégias didáticas e verificação de hipóteses, testar o uso tecnológico da pesquisa científica no campo ondulatório no dia a dia, evidências de aprendizagem, sugestão de melhorias e conclusões. Na **última parte**, analisaremos os resultados do Ensino por Investigação na compreensão conceitual dos movimentos ondulatórios no ensino médio, desenvolvimento de competências e habilidades (trabalho em equipe, colaboração, pensamento crítico, reflexão da realidade).

Fundamentação Teórica

Teoria da Aprendizagem Significativa e o Ensino por Investigação

Na articulação das atividades investigativas destacamos a abordagem da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (2000), pois apoiará a organização do processo instrucional desde o levantamento dos conhecimentos prévios presentes que servirão de base para aprendizagem dos novos conceitos, organização do pensamento com atividades avançadas, progressivamente até as esperadas representações mentais mais complexas ao final da sequência didática. Com base nas lembranças vividas e experiências internalizadas coletivamente pelos educandos sobre a temática ondas (brincadeiras com corda, interferência do som do carro, sinal do celular etc.), pretende-se problematizar e ancorar as estratégias investigativas. Consequentemente, o desenvolvimento do pensamento crítico ocorre pela associação das experiências prévias com o desenvolvimento de novas etapas sucessivas com grau de dificuldade compatíveis com o desenvolvimento cognitivo ao longo da investigação científica. Nas atividades experimentais eles

aprenderão progressivamente a avaliar as evidências dos conceitos físicos em aplicações tecnológicas, analisar argumentos, identificar as limitações e as incertezas relacionadas à pesquisa científica.

Em sala de aula são criadas situações baseadas na resolução de problema (Carvalho, 2013), a partir da rede de conceitos interconectados relacionados ao tema ondas no dia a dia do estudante, uma vez que estão envolvidos avanços científicos dos fenômenos ondulatórios, os estudantes possuem conhecimentos prévios difusos que demandam embasamento conceitual tais como: ondas em aplicações tecnológicas, controvérsias conceituais, pseudociências etc. Enfim, ideias básicas (âncoras para conectar novas informações), subsunçores com algum grau de imprecisão e precisão que podem criar conexão significativa (Ausubel, 2011).

Desse modo, para haver compreensão do tema a implementação das aprendizagens precisam ser conectadas à realidade, a visão de mundo do estudante (Freire, 1987). O contexto norteará a seleção da situação-problema adequada ao cenário conjuntura cotidiana, estrutura escolar, pensamento dos estudantes e recursos disponíveis. Nesse sentido, autores como Vergnaud (1982) propõe que o desenvolvimento do processo de aprendizagem na escola ocorra de maneira organizada, em campos conceituais, a partir de uma situação-problema. Aos poucos, com o conhecimento prévio, a sequência de atividades, o estudante pode vir a adquirir domínio sobre o tema, sendo necessário desenvolvê-lo progressivamente com a utilização de vários conceitos e associação de estratégias didáticas inter-relacionadas para a solução da situação-problema significativamente (Moreira, 2013, p. 26).

Inicialmente, a investigação ocorreria nesse universo informal de ideias básicas que o estudante conhece sobre o tema (Moreira, 2013). Desse modo, a exploração se desenvolve, com a agregação de problemas complexos, haveria a necessidade de os estudantes investigarem novos conceitos para a elucidação dos problemas (Sasseron, 2018). Assim, recorrer a recursos didáticos tecnológicos para embasar as questões conceituais debatidas em sala de aula atende a BNCC Computação (2022), também é um meio para resolver problemas abstratos e complexos. Naturalmente, ao longo do processo de construção da aprendizagem significativa, as formulações e operações mentais serão conectadas de forma relevante não trivial e não-arbitrária (Moreira, 2002). Conforme estudado na teoria construtivista Lev Vygotsky (1987) e David Ausubel (2000), a aprendizagem vai sendo construído por meio da mediação do professor e das informações introdutórias adquiridas pelos educandos sobre o assunto, especificamente, a propagação de ondas internalizados pelos discentes serão levantadas para que possam fazer associações com os fenômenos ondulatórios observados.

O ensino de física tem passado por muitas mudanças, tanto legais e curriculares no ensino médio (Brasil, 2002) motivados pela necessidade de adaptação ao cenário socioeconômico, tecnológico e ambiental atual. Assim, ao longo das últimas décadas, observamos inovações metodológicas, estratégias e recursos didáticos diferenciados para melhorar a compreensão dos alunos, mas no ensino de física ainda prevalece didáticas desatualizadas (Moreira, 2018). Assim, respeitadas as condições do ambiente da investigação científica do espaço escolar, busca-se uma análise discursiva mais ampla ao campo do conceitual (Vergnaud, 1996), para analisar a criação e propagação das ondas para podermos esclarecer pontos que geram dúvidas no estudo de ondas mecânicas (Hewitt, 2002) que apresentam comportamentos periódicos facilitando a visualização, comparação e a coleta de dados.

Por outro, espera-se que ao diversificar as estratégias de ensino com o processo investigativo e o uso de experimentos simplificados, ajude a quebrar a monotonia do ensino tradicional pelo engajamento epistêmico (Carvalho, 2004). Também, ações didáticas como o ciclo de argumentação, coleta de dados com o uso de recursos didáticos tecnológicos, estímulo a conclusões baseada em dados na explicação de conceitos complexos, desenvolvimento das habilidades de pensamento

crítico, baseados em raciocínio lógico e não apenas em opiniões sensoriais à medida que a investigação avança (Lopes, 2004; Ferreira, 2022). Assim, é importante que o professor saiba quais competências e habilidades o aluno precisa conquistar sua autonomia (Dewey, 1976). Assim, utilizando metodologias ativas os estudantes serão os protagonistas do processo de conhecimento científico (Carvalho, 2010 & Sasseron, 2018). Ao passo que, o professor é um mediador, colaborador para a construção da reflexão crítica em conjunto com o estudante, orientando e sanando dúvidas em todo o processo educativo (Dewey, 1979).

Além de abordar teorias e conceitos, atividades práticas como experimentos de baixo custo e simulação computacional ajudam na concretização de objetivos educacionais, quando desenvolvidos em uma sequência didática com a participação ativa dos estudantes em sala de aula (Bacich & Holanda, 2020). Dessa forma, valorizar as diferenças específicas dentro de um conceito geral (diferenciação progressiva), contextualização dos conceitos (desenvolver linguagem própria, evitar repetição mecânica), resolução de conflitos entre o senso comum e o conceito científico (reconciliação integrativa) para o aluno identificar semelhanças e diferenças entre o que acabou de aprender, ou seja, verificação das conexões que o estudante faz entre o novo conhecimento e os conhecimentos prévios (Ausubel, 2000). A aprendizagem leva em conta a autonomia, individualidade, a qualidade da troca discursiva entre pares durante a investigação e a interação social (Vygotsky, 1987); aprendizagem que contemple as múltiplas habilidades, talentos e capacidades dos estudantes (Gardner, 2006).

Metodologia

O estudo da ondulatória (ondas mecânicas) utilizou como abordagem a Teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2000) para organizar, desenvolver, observar e aferir a aprendizagem dos estudantes. A estratégia didática foi alicerçada em metodologias ativas, com a implementação de atividades instrumentalizadas pela metodologia do Ensino por Investigação, pois essa prática pedagógica apresentou-se como promissora na promoção da autonomia dos estudantes e interesse pela ciência (Sasseron, 2018). Desse modo, o estímulo à participação ativa dos educandos na construção coletiva do conhecimento durante a proposta do ensino por investigação estimulou elementos essenciais para a aprendizagem significativa: a curiosidade pela ciência, a análise dos problemas em seu contexto por meio de associações que levassem à construção do pensamento crítico.

O trabalho buscou a compreensão de fenômenos educativos por meio da pesquisa qualitativa, pois teve a intenção de fazer a intersecção entre os objetivos educacionais (via epistemológica, subjetividades e interações que originaram do ambiente educativo), o Ensino por investigação (que visou o desenvolvimento de habilidades científicas pelos estudantes) e a Teoria da Aprendizagem Significativa (desenvolvimento da capacidade de realizar conexões com as novas informações, bem como a autonomia, criatividade, pensamento crítico e aprendizado com significado). Essa combinação, permitiu a análise não apenas do que o aluno aprendeu, mas como ele, enquanto protagonista, processou a informação.

A adoção da metodologia qualitativa na pesquisa científica educacional apresenta-se como alternativa viável devido à praticidade de manipular variáveis subjetivas, não ideológicas (Magalhães Junior & Batista, 2023, p.16). O caráter qualitativo da abordagem estruturada na educação e caráter quantitativo da investigação usando o simulador para coletar dados, a subjetividade do aprendizado do estudante, exigiram uma abordagem de estudo de caso para identificar a eficácia da proposta de estudo integrado para conceitualização das variáveis em aulas temáticas como trilhas de aprendizagem, aulas eletivas, semanas científicas etc. Dessa forma, a aula sobre os fenômenos ondulatórios ocorreu no laboratório de informática, atendendo aos interesses dos discentes, com o uso de recursos pedagógicos online, como os simuladores interativos. Nessa parte da sequência didática, foram inseridas atividades investigativas diversificadas pelas tecnologias digitais, seja para

criar um ambiente em que o discente atuasse ativamente no desenvolvimento de habilidades de observação, análise de dados e construção de representações visuais e modelos no ensino de ondulatória. Aplicado nas turmas de eletiva, para elevar o entendimento de como esses tipos de ondas se comportam no mundo real e suas aplicações.

“As aulas Eletivas têm o potencial de aprofundar o desenvolvimento dos estudantes em um ou dois eixos estruturantes, sempre conectando essas experiências a temas de interesse dos estudantes, por exemplo. A intenção é assegurar que a atividade também tenha começo, meio e um fim coroado por um momento de culminância, no qual seu resultado é compartilhado com a escola e a comunidade (Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal., Currículo do Novo Ensino Médio, 2025).”

Nessa perspectiva, das aulas temáticas introdutórias, a integração dos conceitos de ondas, mediada pela ação dos estudantes e intervenção do professor, permitiu o desenvolvimento de subsunçores básicos (processo de construção de hipóteses, investigar, experimentar, analisar e divulgar) para o posterior aprofundamento das ideias no contexto do currículo escolar.

Caracterização da amostra: os participantes da atividade somaram sessenta e um estudantes do segundo ano do ensino médio de uma escola pública do Distrito Federal. O desenvolvimento das atividades partiu da divisão dos estudantes em grupos de até quatro integrantes, que se revezaram durante as atividades investigativas realizadas nas três turmas eletivas. Em relação aos conhecimentos prévios e áreas de interesses, o planejamento das sequência didáticas considerou a opinião dos estudantes na escolha dos recursos didáticos (Gráfico 1).

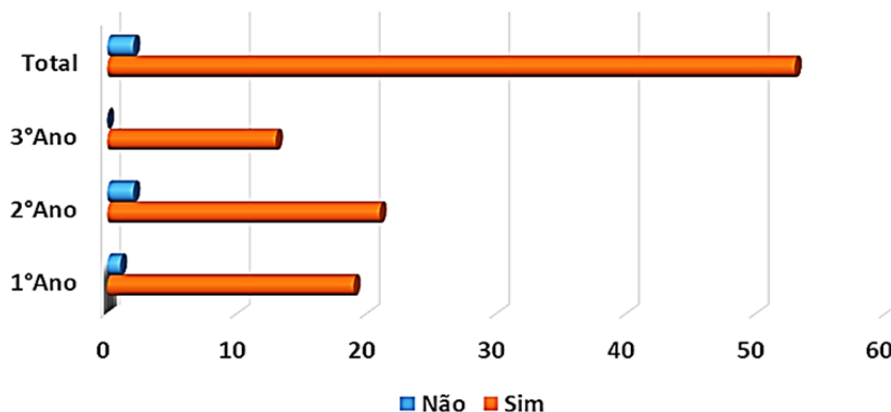


Figura 1: Desejo do Estudante em Participar de Atividades com TDIC na escola. Autoria própria

Materiais potencialmente significativos: para que o desenvolvimento da atividade não seja apenas um exercício vazio, ela precisou ser ancorada pelos interesses dos estudantes em atividades que empreguem tecnologias (Figura 1), como motivador para aprender novos conceitos, a investigação utilizará os subsunçores como pontos de ancoragem para os novos conceitos. Além das escolhas das atividades com uso de tecnologia, a nova informação interage com os conhecimentos prévios dos estudantes sobre ondas (Ausubel, 2000), modificando tanto o novo, quanto o antigo conhecimento. O professor atuou como um mediador organizando o material potencialmente significativo e estimulou o estudante a buscar as respostas para os problemas (Figura 2).

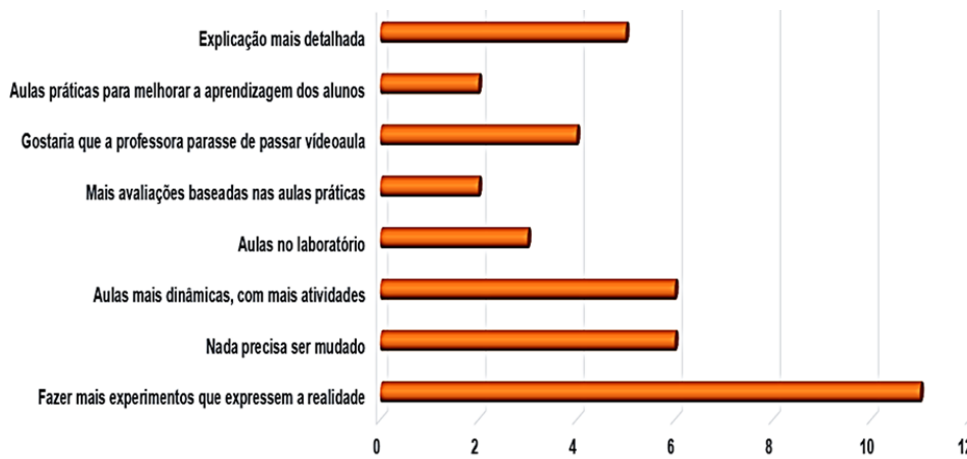


Figura 2: Sugestões dos estudantes para dinamizar as aulas de física. Autoria própria.

Os discentes manifestaram, em um questionário prévio, o desejo de aulas mais dinâmicas e experimentais, com estratégias didáticas que fugissem do tradicional, aprofundamento dos temas, avaliações baseadas nas atividades práticas e experimentos que expressassem a realidade.

Instrumentos de coleta de dados: foram utilizados na análise da aprendizagem a gravação das aulas práticas, avaliação dos registros dos conceitos (em formato escrito ou oral), na documentação das soluções propostas durante a investigação e nas discussões em grupo. Além disso, foram analisados os dados dos experimentos realizados pelos estudantes utilizando registros em vídeo das interações dos estudantes com a simulação e de um relatório final produzido por cada grupo. Além disso, a coleta de dados se baseou principalmente em observações, apresentações e relatórios, o que pode ter limitado a compreensão de outros aspectos do processo de aprendizagem, mas que podem ser aprimorados com outras técnicas de análise em novas aplicações.

Técnica de análise de dados: buscou-se compreender os processos de aprendizagem significativa e a atuação dos estudantes, por meio da avaliação formativa e diagnóstica. Para verificar a ocorrência da aprendizagem significativa, foram examinados a participação individual e coletiva, argumentação científica (oral e escrita), e a elaboração de gráficos e tabelas com os dados obtidos nos simuladores. A análise qualitativa mostrou-se essencial, pois privilegiou a interpretação dos significados que os estudantes atribuíram às experiências vivenciadas, tanto individual quanto coletivamente.

Justificativa da escolha metodológica: o estudo de conceitos ondulatórios integrando áreas da física ensinadas de forma fragmentada, justifica-se pela necessidade de o professor realizar a conceituação prévia, desenvolver em profundidade o processo de aprendizagem, analisar os avanços, as dificuldades, a criatividade e a aprendizagem significativa desenvolvida pelos estudantes durante a prática educativa. Desse modo, a combinação da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2000) com o Ensino por investigação oferece um arcabouço teórico e metodológico consistente para a investigação. A relevância do estudo pode ser justificada pelo pouco contato dos estudantes do ensino médio com o ensino com características investigativas, mas a implementação da abordagem pode contribuir para o aprimoramento das práticas pedagógicas, o engajamento do estudante e ajudar na compreensão dos conceitos relacionados às ondas.

Caracterização da amostra: os sessenta e um estudantes das turmas do segundo ano do ensino médio do Distrito Federal, foram organizados em grupos de no máximo quatro integrantes para a investigação científica dos fenômenos ondulatórios. A escola possui dois laboratórios de informática, nos quais foram conduzidas atividades no simulador para o estudo desses fenômenos, visando a diminuição do nível de abstração e complexidade. Dessa forma, foram implementadas atividades que permitiram aos estudantes desenvolverem vocabulários próprios a respeito do tema,

sendo o conhecimento mediado por tecnologia um recurso eficaz para trabalhar os conceitos e consolidar a base necessária para os aprendizados futuros.

Etapa 1: contextualização da aprendizagem realizado por grupos de discussão

Investigação do problema: nessa fase inicial, a experiência consistiu na investigação da questão-problema de pesquisa: O que são Ondas? A metodologia teve como objetivo preparar os educandos para a exploração desse conceito, enfatizando a autonomia do estudante por meio de exemplos conectados ao cotidiano, da mobilização de conhecimentos prévios, da referência a aplicações tecnológicas e da construção racionalizada de um o vocabulário científico básico conectado ao contexto. Esse conjunto de ações didáticas visou desenvolver uma sequência didática lógica, significativa e capaz de envolver o estudante ao longo da atividade investigativa (Figura 3):

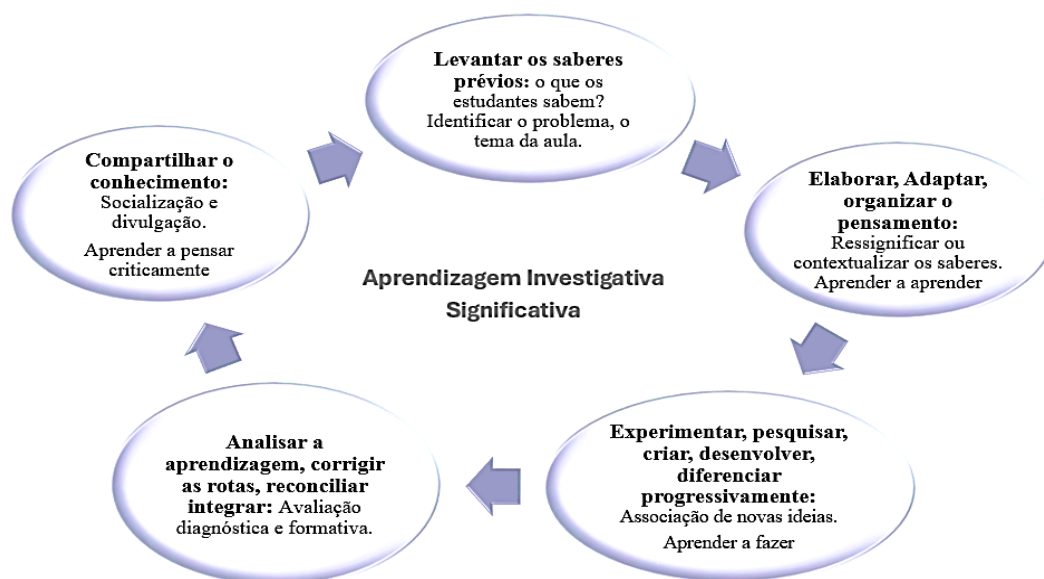


Figura 3: Sequência didática investigativa aprendizagem de ondas com significado.

Problematização do tema ondas (características e aplicações): o primeiro momento, consiste em conectar o tema ondas a um problema cotidiano, aplicação das pesquisas científicas, exemplos de aplicação tecnológica. Também, com o intuito de definir as melhores estratégias, pesquisando sites com simuladores, livro didático, vídeos para elevar a compreensão dos conceitos e ativar os subsunçores que seriam necessários para a investigação dos fenômenos ondulatórios e formas instrumentais para descrevê-los, pois durante a investigação o estudante parte da sua realidade para compreender o processo instrucional, aliando conhecimentos prévios, teoria e prática. Adicionalmente, na troca de ideias sobre o tema e, com a mediação do professor, definir os desafios da investigação (questão-problema) com os estudantes. Em contrapartida, a escolha dos recursos didáticos observa as necessidades e opiniões dos estudantes.

Nesta perspectiva, a investigação foi conduzida com o uso de simuladores, para análise de conceitos básicos (comprimento de onda, frequência, amplitude, velocidade) foi utilizado o PhET (Ondas na Corda). Dada a importância da tecnologia na sociedade atual, é preciso fazer uso da intencionalidade pedagógica (Moreira, 2013), ou seja, fazer uso da tecnologia aliado a outras estratégias didáticas, aproximando o estudo de ondas à realidade. Aliar recursos variados, como os simuladores, ajuda na compreensão do conceito de ondas, aquisição de dados para estudo, o qual foi escolhido devido ao grande potencial de atratividade, visando sempre o envolvimento e participação dos alunos nas aulas.

“Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para

se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (BNCC, 2018).”

Etapas 2: desenvolvimento das sequências didáticas e verificação processual da aprendizagem

A primeira aula teve o objetivo de realizar simulação de ondas utilizando a TDIC/ PHET com os alunos, desenvolver competências e habilidades em física de acordo com PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, LDB - Lei 9394/96), em relação Representação e comunicação (Articulação dos símbolos e códigos de ciência e tecnologia): “Ler e interpretar corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos. Por exemplo, interpretar um gráfico de crescimento, ou da variação de temperaturas ambientes [...].” Depois de fazer o levantamento do conhecimento prévio para identificar os principais subsunçores, é preciso trabalhar com o que pretendemos ensinar (organização avançada). Antes da simulação investigativa no laboratório de informática, realizar discussões em grupo sobre as propriedades físicas das Ondas (comprimento de ondas, frequência, período, amplitude etc.). De forma envolvente, listamos as aplicações mencionadas pelos estudantes sobre as ondas mecânicas no dia a dia. Abaixo relaciono as etapas da dinâmica desenvolvida para a problematização do tema, pois os educandos já estavam estudando esta temática: a) Som: onda mecânica longitudinal que se propaga em meios materiais como o ar; b) Ondas transversais produzidas por sons produzidos em corda: guitarra, baixo, violão, harpa, violino, piano; c) ondas na superfície da água; d) abalos sísmicos (terremoto) são ondas mecânicas que se propagam pelo ar.

Organização Avançada

A aplicação metodológica dos conceitos estruturantes do ensino por investigação não pode ser entendida, sem que se compreenda os conhecimentos prévios dos estudantes, o entendimento da relação diária que mantêm com os conceitos. Assim, desenvolvendo esse enfoque do ensino por investigação, procura-se adotar nessa atividade metodologias ativas (alunos protagonistas), para abordar o conceitualmente o tema proposto: investigação científica de ondas. Nesse sentido, a abordagem da sequência didática relacionou as características do Ensino por Investigação (Carvalho, 2010; Sasseron, 2019) com a Teoria de Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2000; Moreira, 2013) e proporcionar ao discente a construção do seu próprio conhecimento. Nesse sentido, as metodologias ativas (Dewey, 1976) e o uso de tecnologia com a esperança de elevar o entendimento sobre ondas. A busca de montagens experimentais de fácil acesso à realidade social e manuseio pelos estudantes (didáticos reais e virtuais) com aparatos de montagem simples e funcional: utilizando-se, muitas vezes, de sucatas e de objetos do cotidiano do aluno e simulação na internet. O aprendiz desenvolve uma postura de observação e investigação da realidade a partir do processo instrucional aliando teoria e prática. A metodologia de ensino consistirá na experimentação junto com tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC) para leitura dos dados, a qual foi escolhida devido ao grande potencial de atratividade, visando sempre o envolvimento e participação dos alunos nas aulas.

“Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.” (BNCC, 2018)

A sequência didática consiste em utilizar no Ensino por Investigação recursos tecnológicos (TDIC, computadores, celular, rádio) e recursos de baixo custo para analisar fenômenos naturais abstratos, mas que impactam o cotidiano dos estudantes (socialmente, economicamente, culturalmente etc.). Os alunos utilizam o sistema de simulação PHET Cada aluno realizou a simulação individualmente, mas poderiam solicitar a mediação da professora para sanar dúvidas e conversar com os colegas. Autonomia para o aluno realizar a pesquisa, observação, coleta de dados primários na simulação é individual, pois a configuração do sistema para realizar a simulação (corda presa,

solta, pressão da onda) são feitas pelos alunos individualmente, dupla ou em grupo. O objetivo da aula baseado no PCNEM (2002) é desenvolver competências e habilidades:

"[...]Contextualização sociocultural, desenvolver a capacidade de utilizar a Matemática na interpretação e intervenção no real. Aplicar conhecimentos e métodos matemáticos em situações reais, em especial em outras áreas do conhecimento[...]"

Essa simulação permite variar a amplitude da onda gerada, a frequência, tensão e amortecimento no movimento da onda. Ao explorar o movimento no simulador o aluno pode usar alguns recursos, tais como: régua, relógio, linha de referência. Estudo que é tradicionalmente realizado no livro didático.

Diferenciação progressiva

A articulação dos conhecimentos prévios, adquiridos no estudo das ondas mecânicas permitiu a introdução dos conceitos relacionados aos fenômenos eletromagnéticos, explorando tanto as similaridades, como frequência, amplitude, intensidade, quanto suas diferenças, como os mecanismos de formação, os meios de propagação, suas aplicações tecnológicas etc. Em aulas vinculadas aos itinerários formativos, espera-se que o estudante desenvolva uma compreensão geral sobre o tema e, progressivamente, aprofunde os conceitos ondulatórios, especialmente no que se refere às aplicações tecnológicas, de modo que consiga diferenciar os conceitos das ondas mecânicas e eletromagnética.

Nesta perspectiva, após a fase de conceitualização do funcionamento das ondas eletromagnéticas, a atividade consistiu em explorar diferentes formas de bloquear a recepção das ondas sonoras em um rádio e ondas eletromagnéticas de um celular, partindo de questões motivadoras, por exemplo: Como funciona a Gaiola de Faraday? Como é possível impedir a recepção do sinal sonoro no rádio? E como interferir no sinal do celular?

Por meio da abordagem investigativa para explorar o bloqueio das ondas sonoras e eletromagnéticas, buscou-se desenvolver habilidades de pesquisa, promover o raciocínio lógico a partir da percepção das diferenças entre esses fenômenos. Em contrapartida, utilizando metodologias ativas, o objetivo é incentivar o protagonismo dos educandos estimulando o pensamento crítico, pela autonomia na escolha dos materiais para realizar o bloqueio, a aplicação do método em situações reais. Além disso, a atividade possibilitou a manipulação de materiais, a verificação de teorias, leis físicas, bem como a vivência prática de experiências científicas pelos próprios estudantes favorecendo uma aprendizagem ativa. Desse modo, puderam verificar o que funciona, o que não funciona e justificar suas conclusões com base nos conceitos estudados.

Por fim, pretendeu-se promover a troca de ideias entre os fenômenos analisados, adicionando, incentivar a reflexão acerca da importância da pesquisa científica no estudo dos fenômenos ondulatórios em múltiplos contextos. A atividade final, centrada no estudo integrado dos fenômenos ondulatórios mecânicos e eletromagnéticos, teve como objetivo desenvolver subsunçores para as disciplinas regulares, analisar a eficácia e limitações da gaiola de Faraday em bloquear ondas mecânicas e eletromagnéticas.

A proposta foi estruturada a partir de uma abordagem investigativa, em etapas articuladas pelos conhecimentos prévios e novos conteúdos. Nesse contexto, buscou-se não apenas a apropriação conceitual, mas também o desenvolvimento de habilidades relacionadas à pesquisa, ao raciocínio lógico e a argumentação científica:

(a) Definição da pergunta de pesquisa: os alunos formulam a questão central que orientará a investigação. Mas a questão principal é o que vai nortear a investigação: O que são ondas? Será que as ondas levam materiais ou energia para longe? Como surgem as ondas? E sua propagação pelo espaço?

(b) Construção da gaiola de Faraday: os alunos selecionam os materiais de baixo custo e o instrumento que vai ter seu sinal bloqueado (rádio ou celular);

(c) Teste experimental: os alunos investigam quais arranjos experimentais bloqueiam efetivamente as ondas sonoras (rádio) e eletromagnéticas (celular);

(d) Observação sistemática: os estudantes observam o que acontece com funcionamento dos aparelhos (celular e rádio) durante os testes de bloqueio;

(e) Comparação e análise: socialização da experiência com os colegas para fazer a comparação da montagem mais eficiente no bloqueio das ondas;

(f) Relato e proposição de melhorias: os estudantes descreveram a experiência e apresentaram possíveis soluções ou melhorias para o problema investigado.

Reconciliação Integrativa (avaliação diagnóstica e formativa):

A etapa de realização integrativa, compreendida como momento de avaliação diagnóstica e formativa foi desenvolvida a partir da realização da simulação de ondas sonoras e do experimento bloqueio de ondas com a Gaiola de Faraday, com vistas à promoção da discussão dos resultados físico obtidos. Inicialmente, buscou-se identificar o nível de compreensão conceitual, a capacidade dos estudante em articular a teoria na prática. Neste contexto, os estudantes foram orientados a fundamentar seus relatos das atividades propostas utilizando os conceitos físicos.

Em um segundo momento, avaliou-se o desenvolvimento individual ao longo da atividade, considerando aspectos qualitativos relacionados ao engajamento e a participação discente. Dentre os critérios observados, destacam-se: a participação individual na construção do pensamento coletivo, a montagem experimental, a participação ativa nas discussões coletivas, a formulação de questionamentos voltados para a elucidação dos problemas, a proposição de sugestões e exemplos contextualizados. Nesse sentido, avaliar não apenas a aprendizagem conceitual, mas também promover reorganização cognitiva dos conhecimentos, em consonância com os princípios da aprendizagem significativa.

Relato da Aplicação e Análise dos Dados

A sequência didática sobre as ondas mecânicas iniciou-se com um plano de aula destinado a investigar o conhecimento prévio dos estudantes, definição dos objetivos e perguntas para a investigação. Desse modo, a partir da questão norteadora: O que os estudantes sabem sobre os diferentes tipos de ondas e suas propriedades? Os objetivos específicos da atividade investigativa com simuladores foram:

- a) Investigar o conceito de ondas e suas propriedades (comprimentos de onda, frequência, amplitude, velocidade) por meio do simulador PhET – Ondas na Corda;
- b) Estudar como as ondas mecânicas se propagam em meios materiais;
- c) Explorar fenômenos naturais relacionados às ondas mecânicas (som, ondas em cordas, água, sísmicas etc.) e suas aplicações em diversas áreas da ciência e tecnologia.

Nessa etapa introdutória, a metodologia consistiu na discussão dos saberes prévios do estudante acerca do fenômeno ondas, passada a discussão do tema nas turmas do segundo ano do ensino médio, foi necessário realizar o levantamento dos subsunçores, ou seja, a identificação dos conhecimentos prévios e das representações mentais dos estudantes associadas aos conceitos ondas mecânicas, suas características e sua propagação em meios materiais.

Para facilitar a compreensão dos conceitos fundamentais, empregou-se uma linguagem acessível, e os discentes foram estimulados a registrar, por escrito, tudo o que sabiam sobre o tema.

A discussão concentrou-se em seus conhecimentos derivados das experiências pessoais no cotidiano e conhecimentos de aplicações práticas. Relatos como: “Lembro das brincadeiras com corda”, “ondas do mar”, “ondas no rio”; “na bacia”, “ondas de rádio” foram as associações comuns citadas nas prévias dos estudantes. Esse momento foi crucial para incentivá-los a participar ativamente do processo educativo, contribuindo com argumentos verbais, registros ou exemplos que os auxiliassem a compreender o fenômeno ondulatório em sua totalidade, desde a geração até a finalização da onda. A interação foi constantemente encorajada, de modo que o estudante se envolveu progressivamente à medida que a ação pedagógica avançava.

Questões para a investigação

Logo após a fase de problematização, foi necessário investigar como os estudantes conceituam os fenômenos ondulatórios no cotidiano. Por meio, da exploração de algumas variáveis-chave: frequência, amplitude, comprimento, amortecimento e interferência de ondas. Os alunos conduziram as investigações no simulador para observar a amplitude, frequência das ondas, além de aprender a manipular os controles virtuais da simulação (Figura 4). Cabe ressaltar que, conforme estabelecido pela Resolução CEB 01/2022, o acesso às ferramentas digitais deve ser assegurado a todos os estudantes da educação básica. Adicionalmente, a Lei nº 14533/2023, determina a incorporação ao currículo do ensino básico o uso de ferramentas computacionais, programação, robótica e outras competências digitais.

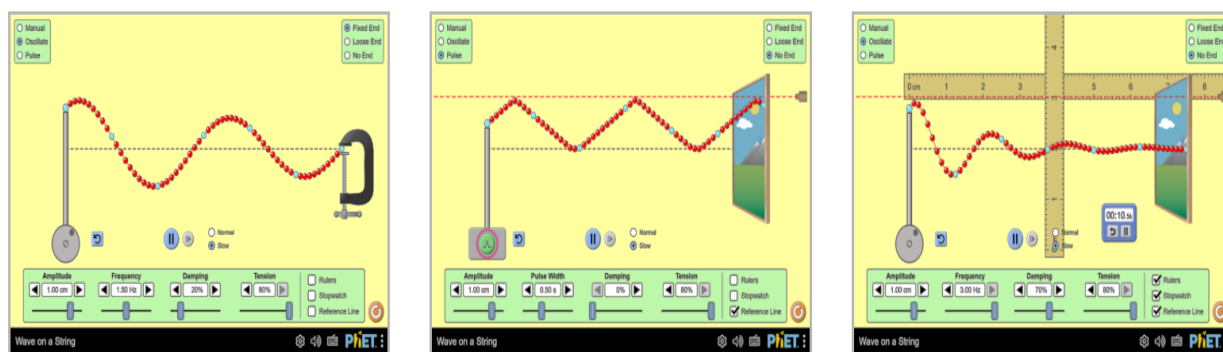


Figura 4: Phet Interactive Simulations, Onda em corda. Analisar o comportamento ondulatório em diferentes meios, frequência e amplitude.

O que você observa?

O planejamento de atividades interativas nos simuladores envolveu a exploração do conceito de ondas, com a proposição de problemas, desafios e exercícios que permitissem aos estudantes realizarem experiências e análises das ondulações geradas no simulador, explorando diferentes tipos de ondas (transversais e longitudinais). O objetivo é elevar o desempenho do educando realizando observações utilizando tecnologias, bem como permitir ao estudante experimentar outras formas de aprendizagem para além do ensino tradicional. Para incentivar a participação ativa, os estudantes partiram dos questionamentos: O que você observa: é o movimento das partículas? As moléculas saem do lugar?

Os estudantes começam a interagir livremente com os simuladores, selecionando as configurações de sua preferência para movimentar a corda mecanicamente, para analisar a movimentação das ondas, formação, propagação, para que realizassem a distinção das ondas longitudinais e transversais, pressão na transferência de energia após o evento que originou a onda. Propôs-se discutir as características do movimento ondulatório na propagação da energia à medida que se espalham no meio material, ou seja, investigando se as moléculas deslocam ou apenas vibram em torno de uma posição. As etapas incluíram:

- Exploração da simulação individualmente ou em grupo, com registro das funcionalidades,

- configurações e anotar as observações;
- b) Uso do temporizador da frequência para coletar dados como número de ondas em determinado ponto, a frequência e o período (ondas por minutos);
- c) Utilização da régua virtual, para fazer inferências sobre a amplitude e comprimento de onda.

Nesta perspectiva, a interatividade do simulador permitiu ilustrar as características das ondas, como a velocidade, amplitude, frequência e comprimento de onda. Assim, os estudantes puderam usar a simulação para modelar ondas mecânicas, observar como a altura da onda é afetada pela energia da fonte geradora, ou seja, quanto maior a energia, maior a amplitude. Desse modo, analisando a relação entre a frequência, comprimento de onda e a velocidade de propagação. A interdisciplinaridade entre a física (ondulatória) e a Tecnologia pode ser utilizada como subsunçor para explorar as propriedades ondulatórias importantes para o entendimento de outros fenômenos mais complexos como os eventos eletromagnéticos. As simulações contribuíram para a visualização das características das ondas, permitindo ao estudante relacionar o modelo virtual a fenômenos reais, diversificar os tipos de ondulações e estudar as propriedades, como as ondas geradas em uma corda que se propagam em um meio material.

Parâmetros norteadores da investigação

Os quatro termos mais identificados pelos estudantes no levantamento referem-se aos conceitos de frequência (alta ou baixa), amplitude (alta ou baixa), comprimento de onda (curto ou longo) e velocidade (baixa ou alta). Desse modo, torna-se importante revisar a compreensão dos estudantes acerca das variáveis frequência, comprimento de ondas e amplitude.

Nesta perspectiva, a ação didática inicial consistiu em uma investigação orientada dos conceitos de frequência e o comprimento de onda, previamente identificados pelos discentes. Como parte dinâmica em sala de aula, os estudantes foram incentivados a explorar o simulador, ajustando os parâmetros de modo a analisar variações nos padrões ondulatórios (Figura 5).



Figura 5: Ação didática-pedagógica, como as ondas movem o mundo? Nesta atividade, os alunos podem investigar no simulador formação das ondas mecânicas, seu funcionamento e os conceitos físicos envolvidos, em grupo ou remotamente em casa.

Durante essa etapa, os discentes também foram incentivados a explicar qualitativamente como tais ajustes influenciaram a formação das ondas, favorecendo a compreensão das relações entre frequência, comprimento de onda e as características observáveis do fenômeno.

Além de mensurar as conexões e lacunas nas formas na representação e comunicação dos fenômenos ondulatórios. Essa etapa envolve a articulação de símbolos, códigos próprios da ciência e da tecnologia, em consonância com as orientações presentes nos documentos oficiais. Nesse sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (Brasil, 2022) destacam a importância do

desenvolvimento de competências relacionadas à leitura e interpretação de diferentes formas de representação. Conforme indicado:

“Ler e interpretar corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos. Por exemplo, interpretar um gráfico de crescimento, ou da variação de temperaturas ambientes(...)” (Brasil, 2002).

Dessa forma, os currículos educacionais evidenciam a necessidade de promover práticas pedagógicas que favoreçam a alfabetização científica, especialmente no que se refere à interpretação e compreensão dos fenômenos físicos.

Organização Avançada

O que o estudante precisa saber e fazer?

A proposta pedagógica fundamenta-se no uso de tecnologia para estimular o estudante a investigar, a debater e argumentar sobre o problema proposto. Enquanto os grupos pesquisam as definições e soluções para o questionamento no simulador, o professor realiza o monitoramento contínuo das atividades para identificar as necessidades específicas de cada aluno, identifica viabilidade das ideias para os problemas complexos, estimula a participação discente em todas as etapas do processo, cria situações para retirar o estudante da passividade e levá-lo a trocar experiências com o grupo, estimular a reflexão sobre as possíveis soluções encontradas individualmente, contribuindo, assim para a construção coletiva do conhecimento.

Nesta perspectiva, ainda no laboratório de informática, se propõe a realização de uma discussão dirigida acerca das propriedades físicas da onda, tais como comprimento de onda, frequência, período, amplitude, velocidade. Tal abordagem busca fortalecer a compreensão conceitual e a capacidade de análise dos estudantes. Adicionalmente, são propostas questões investigativas que orientam a análise dos fenômenos, estimulando a reflexão, a argumentação científica e a construção ativa do conhecimento:

1. Como a frequência e o comprimento de onda se relacionam nos diferentes tipos de ondas?
2. De que maneira a amplitude da onda influencia no comprimento de onda?
3. Como a velocidade da onda se relaciona com a frequência e o comprimento de onda?

Inicialmente, realizou-se a retomada dos conteúdos discutidos na aula anterior, ativando os conhecimentos prévios. Os estudantes foram organizados em dupla ou grupo, com um roteiro semiestruturado e autonomia, pois a configuração do sistema (corda presa, solta, pressão da onda) são de livre escolha. Analisando as representações mentais construídas pelos estudantes ao longo da simulação de onda na corda, muitos alunos visualizaram as ondulações como movimentos repetitivos para frente, mas aos poucos perceberam as particularidades envolvidas na sua propagação pelo espaço. Essas imagens podem ser úteis para entender conceitos complexos como período, comprimento de onda, frequência e velocidade e a inter-relação entre elas.

Em seguida, os estudantes foram incentivados a participar de discussões coletivas, nas quais registraram os aspectos do movimento ondulatório observados na simulação, fazendo analogias com aplicações tecnológicas do cotidiano, desenvolvendo habilidades com um sistema informatizado e competências articuladas com os conceitos teóricos requeridos na educação formal buscando a construção do conhecimento de forma duradoura, de acordo com a aprendizagem significativa (Ausubel, 2003).

O professor realiza questionamentos orientadores com o objetivo de identificar evidências de aprendizagem, compreender as ideias construídas pelos discentes, bem como manter a turma engajada no processo investigativo, especialmente no que se refere à busca de evidências que caracterizam os fenômenos ondulatórios. A avaliação da compreensão dos alunos é um passo

importante para definir a progressão das estratégias didáticas associadas às ondas. Essa estratégia didática está alinhada ao papel do docente como mediador do processo de aprendizagem, promovendo a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa dos conceitos (Moreira, 2012).

Além disso, essa intervenção avalia o potencial da tecnologia para elevar o aprendizado dos conceitos abstratos, fazer a diferenciação dos tipos de ondas mecânicas e eletromagnéticas, desenvolver habilidades de investigação e saber identificar os conceitos em situações práticas diárias.

O que o educando aprendeu?

Analisar se a turma conseguiu avançar nas competências e habilidades esperadas com o uso de tecnologias, tais como: estabelecer conexões com a realidade, analisar dados, comunicar ideias de forma clara e fundamentada. Nessa etapa da investigação, destaca-se a utilização pedagógica das **representações mentais dos estudantes** para a resolução de problemas (Laird, 1983). Nesse sentido, busca-se identificar as principais características das ondas mecânicas (amplitude, frequência, comprimento de onda, período, velocidade), registrando os dados em tabelas, identificar as ideias mais citadas nas atividades práticas. É fundamental acompanhar os grupos de forma contínua, esclarecer as dúvidas. Esse processo permite avaliar, de maneira formativa, se os estudantes compreenderam, a relação entre comprimento de onda e frequência.

O tempo necessário para a aprendizagem é individual, mas o trabalho em grupo e as discussões são essenciais para a evolução do entendimento das propriedades das ondas de forma clara, lógica e duradoura. Percebe-se, que a aprendizagem não ocorreu na mesma velocidade para todos; cada estudante necessita de tempo para observar, racionalizar o fenômeno, compreender a formação, evolução, analisar os efeitos e argumentar sobre o tema. Assim, à medida que o estudante compreende os conceitos abstratos de ondas, registram-se as informações no quadro branco para a apreciação dos demais grupos de estudo. O estudante necessita de liberdade e tempo para compreender os conceitos, caso não consiga explorar as características no laboratório da escola, poderá realizar as simulações em casa.

Identificação dos pontos fracos e fortes do grupo

Por meio do compartilhamento das observações nas apresentações em grupo, coleta de dados, organização em tabela e gráfico o professor pode identificar as dificuldades encontradas na atividade. A cada etapa dos experimentos o professor estimula os alunos a expressarem seu pensamento. Assim, à medida que os grupos terminam as investigações das frequências e as amplitudes das ondas, os estudantes compartilham os resultados. Essa discussão acontece entre os grupos, com o professor o mediador, organizador do debate para que os discentes possam interagir, confirmar ou refutar as ideias apresentadas. Em grupo, adicionaram mais conteúdo e ajudarão uns aos outros a aprender, a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conteúdo se ancora aos conhecimentos prévios (Ausubel, 1968).

Nesta perspectiva, a análise qualitativa, dessa etapa, consistiu na comparação entre as atividades prévias e avançada utilizando dois critérios primários (Ausubel, 2000), a substantividade (capacidade de expressar conceitos simbólicos fazendo representações com linguagem própria) e a relevância (existência de subsunçores para ancorar a aprendizagem). Nesse sentido, a intensidade da substantividade e da relevância podem levar a diferenciação conceitual progressiva por Subordinação e Superordenação, ou seja, o aprendizado com significado requer a articulação do conceito novo com clareza, objetividade e diferenciação progressiva.

Tipos de aprendizagens identificadas

A avaliação formativa dos discentes durante as discussões da atividade proposta, ondas, suas propriedades e características, se as duplas de estudantes exploraram ativamente o movimento

ondulatório no simulador utilizando os recursos, alterando os parâmetros com autonomia. Etapas avaliadas da aprendizagem significativa utilizando o simulador: 1) Explicação da escolha do simulador para realizar as observações (corda fixa ou livre), isto é, os discentes decidiram qual simulador era mais adequado para o tipo de onda que vocês desejavam estudar; 2) Definição individual dos padrões de ondas ou variáveis para realizar as medições (frequência, amplitude, comprimento de onda, velocidade); 3) Realização dos experimentos: utilizando os controles do simulador para modificar as variáveis observar como as medidas se alteram; 4) Aquisição dos dados: organização dos valores das variáveis observadas em uma tabela; 5) Análise dos dados: Construção de gráficos e busca por padrões nas relações entre as variáveis; 6) Discussão das conclusões em grupo: interpretação dos resultados ao final das simulações experimentais e comparação com as previsões teóricas.

Após a coleta dos dados realizados no simulador, os estudantes organizados em duplas, a análise concentrou-se nas respostas verbais, escritas e produções de gráficos para analisar as ondulações cientificamente (Tabela 1). Para avaliar a aprendizagem os grupos organizaram dos dados em um gráfico da frequência versus comprimento de ondas ($v = \lambda \cdot f$) em um oscilador simples, cada grupo usou livremente as funções do aplicativo para simular diferentes tipos de ondas, realizando a aquisição dos dados (frequência e comprimento de ondas). A simulação das ondas permite a visualização dos conceitos abstratos das ondas mecânicas de forma mais precisa e concreta da amplitude, fase, energia.

Tabela 1: Dados coletados pelos estudantes no simulador PhET

Frequência (Hz)	Comprimento de Onda (λ cm)	Velocidade $v = \lambda \cdot f$ (cm/s)
0,9	8,0	7,20
1,2	3,6	4,32
1,6	3,1	4,96
2,0	2,1	4,20
2,4	1,9	4,56

A aquisição dos dados ocorreu durante a realização das atividades nos simuladores por meio de questionários semiestruturados aplicados antes e após as realizações das atividades para avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes, as percepções da atividade e o aprendizado adquirido. Assim, analisando pedagogicamente as evidências do material (dos gráficos e tabelas) produzido pelos educandos sob a ótica da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (2000), possibilita a análise técnica do que foi aprendido no desenvolvimento da sequência didática:

1. Aprendizagem subordinada derivativa: o conceito geral de ondas já estava presente no imaginário do estudante, os alunos subordinaram os dados experimentais aos conceitos prévios das aulas introdutórias (Ausubel, 1968). Ao estudar ondas com as ferramentas do simulador, os grupos puderam visualizar e experimentar fenômenos físicos de forma interativa: a) Variação a frequência da onda o estudante observa o que acontece com o comprimento de onda; b) Aquisição das medidas do comprimento de onda utilizando as ferramentas do simulador para medir a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos; c) Observação da propagação da onda, como a onda se move no espaço e no tempo; d) Comparação de diferentes tipos de ondas, ondas transversais e longitudinais. Nota-se, que os grupos preencherem as tabelas com os dados do simulador, eles confirmaram o que a teoria prevê, a relação inversamente proporcional entre frequência e comprimento de ondas, eliminando conflitos entre a teoria abstrata visualizando no simulador.

2. Aprendizagem subordinada correlata: as observações, aquisição de dados, organização dos dados em tabelas e gráficos permitiram aos discentes a articulação dos significados, diferenciados progressivamente na sequência didática (Figura 6). Ao manipularem os dados, refinaram o conceito, a compreensão matemática (plano cartesiano, funções) e física (fenômeno ondulatório), se aumentar a frequência (f), o comprimento de onda (λ) obrigatoriamente diminui para manter a velocidade constante. Ao tentarem traçar a curva no papel milimetrado, os discentes tentaram refinar, representar e desenhar o que sabiam sobre o comportamento da natureza. Isso favoreceu a discussão da lei fundamental dos fenômenos ondulatórios ($v = \lambda \cdot f$), bem como a ancoragem dos conceitos relacionados a intensidade e transferência de energia, essenciais para a compreensão dos diversos fenômenos das ondas mecânicas.

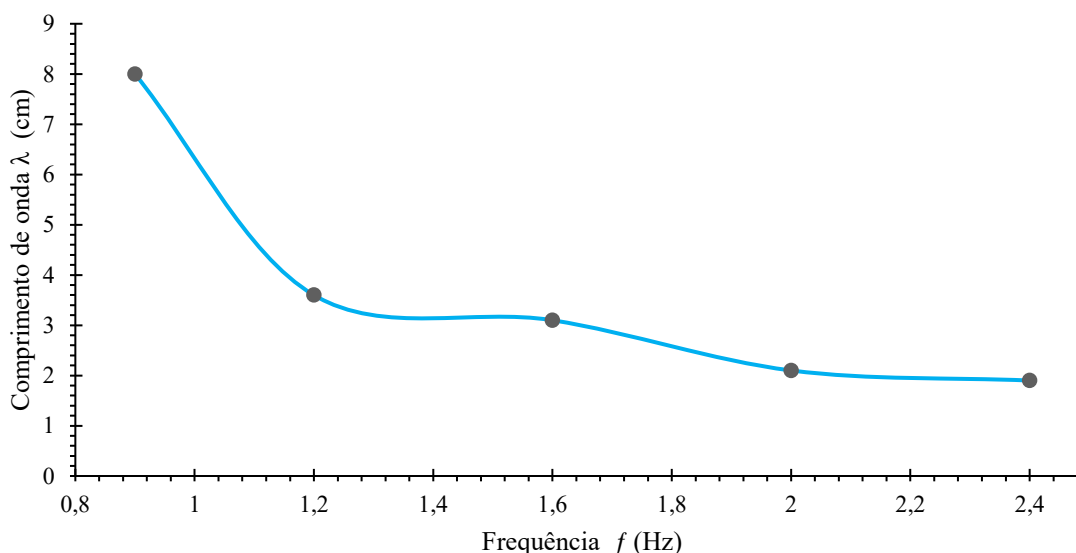


Figura 6: Relação entre frequência e comprimento de Onda (λ cm). Gerado no Software Excel a partir dos dados coletados pelos estudantes no laboratório.

3. Processo de conceitualização significativa: A sequência didática aplicada com a abordagem da aprendizagem significativa, estratégia didática do simulador para desenvolver conceitos, representação gráfica para avaliar a aprendizagem, discussão em grupo para integrar conceitos e desenvolver o pensamento crítico. Esta atividade é mediada pelo professor utilizando um roteiro de discussão para intermediar a assimilação do conhecimento. O processo de conceitualização do tema no simulador, não foi uma descoberta puramente autônoma, mas uma receptação ativa, o estudante participou ativamente da aprendizagem, representou o fenômeno a partir dos dados que ele mesmo coletou e organizou. Nesse sentido, houve a aprendizagem representacional, uso de linguagem simbólica para atribuir significados a fenômenos físicos observáveis. O fato de o educando não precisar apresentar conceitos decorados, dispor de tempo para processar a informação, traduzir dados aleatórios de um simulador, organizar os dados coletados de forma autônoma, com precisão na coleta dos dados, mantendo a coerência científica ao transportar para os eixos de forma correta. Segundo Moreira (2013), ações didáticas não-arbitrárias, tem a informação diferenciada progressivamente, sem a memorização mecânica. Por um lado, o conceito foi ancorado por conceitos prévios diferenciados progressivamente, lógica científica na representação do conceito. Por outro, ainda que alguns discentes evidenciam dificuldades na representação gráfica dos dados, na essência, os educandos compreenderam a natureza do estudo de ondas, relação inversa entre comprimento de ondas e frequência, a intensidade da energia do movimento, a dependência e a proporcionalidade entre as variáveis.

4. Processo de letramento científico (diferenciação progressiva): a maioria dos grupos representaram os dados linearmente com precisão, evidenciando o domínio da escala nos eixos x

(frequência) e y (comprimento). Também, nota-se o esforço em representar uma curva (hipérbole) ou desenhar representações de ondas ao fundo, tentando indicar que a relação do comportamento físico da onda não seria linear. Por outro lado, alguns grupos tiveram dificuldades, necessitarão da implementação de atividades avançadas para sanar dúvidas matemáticas, relação entre os aspectos da representação gráfica dos dados pesquisados: título, marcação das variáveis nos eixos x e y , legendas para os eixos frequência e comprimento de onda, seguidas das unidades de medidas (centímetros, cm, para comprimento de ondas e Hertz, Hz, para a frequência). Além disso, é importante reforçar o processo de letramento científico, discutir os aspectos da legibilidade, organização das informações no desenho gráfico, tanto para elevar a confiabilidade, clareza, quanto a precisão das informações prestadas das observações realizadas na pesquisa.

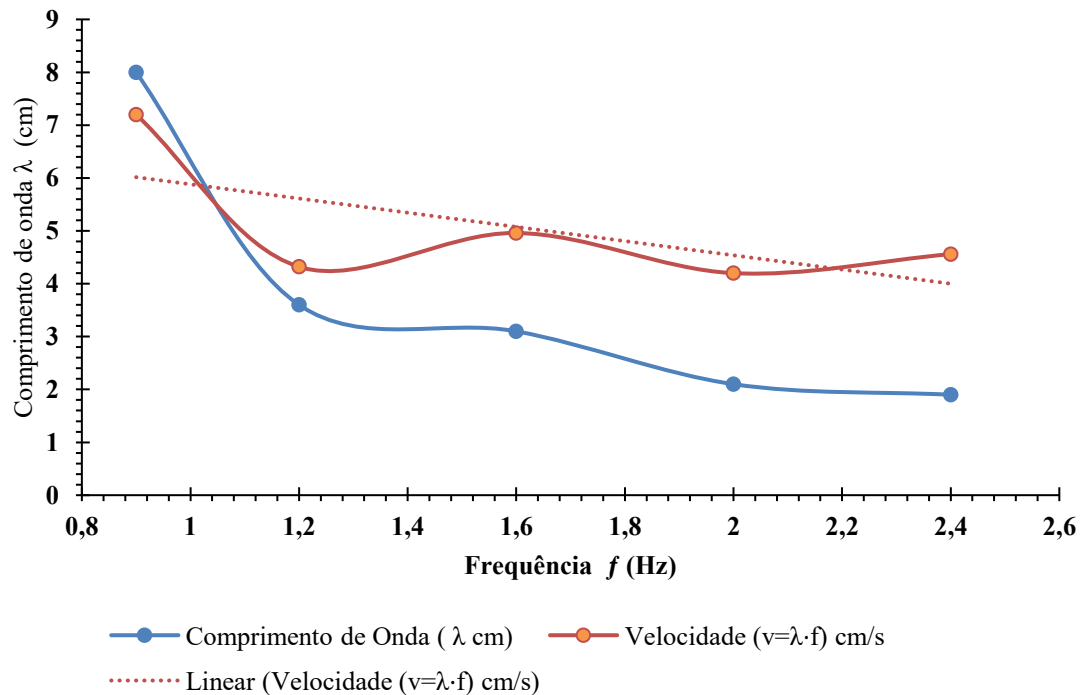


Figura 7: Velocidade de propagação da onda. Gerado no Software Excel a partir dos dados coletados pelos estudantes no laboratório.

Nesse sentido, durante a discussão dos resultados, um grupo, esboçou que a reta relaciona (ajusta) a frequência e o comprimento de onda, a variável velocidade (v), o que sugere um nível de reconciliação integrativa, ou seja, **indícios de aprendizagem significativa**, quando o indivíduo percebe que o produto, ($v = \lambda \cdot f$), é a velocidade de propagação da onda e, faz referência na reta no gráfico. O conhecimento não foi mecânico, pois há consistência lógica entre dados coletados, representação visual, relatos escritos e argumentação verbal. Os dados coletados digitalmente, confirmam qualitativamente a relação inversa entre frequência e comprimento de onda. No entanto, a análise quantitativa indica que a velocidade propagação não se manteve perfeitamente constante, com um desvio notável na frequência mais baixa medida.

Análise e discussão dos resultados

Inicialmente é importante perguntar: Por que a velocidade calculada nesse ponto (7,2 cm/s) é quase 60% maior que a média dos outros pontos ($v = 4,5$ cm/s)? Didaticamente, ao analisar o gráfico de Frequência (f) versus Comprimento de Onda (λ), o foco não deve ser apenas provar que ($v = \lambda \cdot f$), mas sim investigar os limites do experimento. Para sanar dúvidas em relação aos erros de medida presente na pesquisa científica, é necessário abordar as incertezas experimentais na interpretação dos resultados em uma atividade avançada:

Erros aleatórios (incerteza de precisão): observe os pontos de frequência intermediária $1,2 \text{ Hz} \leq f \leq 2,4 \text{ Hz}$, nestes pontos, a velocidade média calculada é de $v \approx 4,51 \text{ cm/s}$, com um desvio padrão amostral de $\sigma \approx 0,33 \text{ cm/s}$. As velocidades calculadas variam um pouco (4,32; 4,96; 4,56), esta flutuação cerca de 7% em relação à média é esperada, pode-se mencionar as incertezas aleatórias inerente ao processo de medição manual do comprimento de onda em meio fluido em movimento, tais como a dificuldade em definir precisamente as cristas da onda e o tempo de reação do operador. Também é importante fazer a mediação, explicar sobre a barra de erros e o cálculo do desvio padrão. Se o comprimento de onda foi medido com a régua do simulador, a incerteza instrumental poderia ser pelos menos $\pm 0,05 \text{ cm}$ (metade da menor divisão), pois como visualizado a onda estava se movendo, a incerteza na leitura humana pode ser de $\pm 0,2 \text{ cm}$ ou mais.

Erros sistemáticos (incerteza na exatidão): o ponto discrepante em baixa frequência de $f = 0,9 \text{ Hz}$, sugere um erro sistemático, velocidade de $v \approx 7,20 \text{ cm/s}$, desvio de 60% em relação à média dos demais pontos. Este desvio significativo sugere a presença de erro sistemático na configuração experimental e empurra consistentemente a leitura da frequência para cima na região de baixa frequência e grandes comprimentos de onda pode ter havido dificuldade dos estudante em fazer a leitura do gerador de ondas dificultando a medição precisa.

Embora, o conjunto de dados coletado, por um dos grupos de estudantes, valide a tendência geral da equação fundamental da ondulatória, ($v = \lambda \cdot f$), a análise das incertezas demonstra que a premissa da velocidade constante só é sustentável, dentro da precisão experimental para o intervalo de frequência acima de $1,2 \text{ Hz}$; como explicado anteriormente, o ponto experimental $0,9 \text{ Hz}$ deve ser desconsiderado na determinação da velocidade média devido à forte evidência de erro sistemático no aparato experimental naquela região.

Nesta perspectiva, as discussões sobre o que aprenderam no estudo dos movimento ondulatórios no simulador, as dificuldades, o engajamento da turma com o aplicativo foi muito importante, para levantar os subsunçores, verificar objetivamente o entendimento dos conceitos básicos, instrumentalizar ideias sobre os erros de medidas, discussão sobre o método científico e aplicações práticas no dia a dia. Para avaliação, discutimos como foi o processo de aquisição de dados, aplicamos um questionário com questões abertas e solicitamos aos grupos a construção de uma tabela e um gráfico com os dados coletados.

Assim, a aprendizagem variou conforme a motivação, a capacidade de raciocínio individual, habilidade própria de cada pessoa para usar sistemas tecnológicos, bem como as escolhas dos materiais para fazer a exploração. Na construção do conhecimento de conceitos abstratos observa-se que os discentes aprendem melhor quando podem visualizar (Moreira, 2022), ou seja, levando em conta a dificuldade do tema ondulatório, a visualização do fenômeno empregando a tecnologia, permitiu a problematização dos conceitos físicos, a organização das ideias difusas e a compreensão de conceitos mínimos como: intensidade da onda, propagação, período e frequência.

Intervenção no processo de aprendizagem

A maioria dos estudantes demonstraram capacidade para realizar representações mentais sobre o tema ondulatório, mas apresentaram dificuldades em articular os conceitos teóricos com as situações reais sem a mediação do professor. Por outro lado, mostraram habilidades para conduzir investigações de forma autônoma aptidão para resolução de problemas complexos. Nesse sentido, propor diferentes tipos de atividades, como experimentos, simulações, discussões em grupo e resolução de problemas variados, foram importantes motivar o estudante durante o processo de aprendizagem. Além disso, o protagonismo do discente na realização das atividades, ajuda na reflexão na construção de representações mentais, apontar as dificuldades para construir um conhecimento mais profundo e significativo sobre o estudo de ondas. Em relação a sequência didática da aprendizagem investigativa algumas questões precisaram ser consideradas:

a) **Dificuldade na compreensão do conteúdo:** a realização da avaliação diagnóstica, consistiu na análise de projetos desenvolvidos na escola, levantaram-se os conhecimentos prévios dos estudantes e o mapeamento do processo de aprendizagem, a fim de selecionar a melhor estratégia didática adequada ao contexto pedagógico vivido pelos alunos.

b) **Motivação e interesse:** os alunos demonstraram interesse pela aprendizagem investigativa? Observamos que o tema ondas poderiam ser trabalhadas utilizando tecnologia de forma significativa, aproveitando a vivência diária do estudante com dispositivos eletrônicos, bem como pelo estudo prévio realizado sobre as ondas mecânicas em aulas subsunçoras.

c) **Desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico:** a realização da gaiola de Faraday, quebra o senso comum, até mesmo para uma aula de física estruturada, pois foi elaborada para uma atividade com abordagem com características investigativas, não só pela sua simplicidade na aplicação, mas principalmente devido ao elevado conteúdo científico envolvido no bloqueio das ondas sonoras e eletromagnéticas.

Dessa forma, a abordagem com características investigativas permitiu aos estudantes explorarem as diferenças entre os conceitos de ondas mecânicas (tipo de onda, amplitude, frequência, meio de propagação) e eletromagnéticas (aspectos da formação elétrica e magnética, meio de propagação, a frequência e comprimento de onda) que demandariam ao elaborar a estrutura da gaiola de Faraday abordagem diferenciada de acordo com o tipo de onda. O estudante ao longo do processo percebe que a recepção das ondas é diferente, tanto no celular, quanto no rádio, sendo necessário pensar com cuidado na estrutura física e nos materiais para realizar o bloqueio do sinal nos aparelhos de celulares e rádio.

d) **Avaliação da aprendizagem:** destacou-se a atividade integrativa, a interação social no processo de construção do conhecimento (aluno, professor, aluno) e aplicações da Gaiola de Faraday e sua aplicação em várias áreas da vida cotidiana (para-raios, bloqueios de sinal de celular, uso em laboratórios, hospitais etc.) na proteção de equipamentos eletrônicos e até mesmo na segurança das pessoas.

Além disso, os alunos puderam compreender que a investigação é um dos pilares da ciência e nos auxilia na busca por respostas para questões complexas. Os alunos durante a investigação do melhor equipamento para mostrarem habilidades de cientistas ao questionar, observar, coletar dados e analisar informações ao longo dessa sequência. Essas são habilidades importantes para o desenvolvimento pessoal e profissional de vocês. Lembre-se de que o conhecimento científico é uma construção contínua. Sempre haverá novas descobertas e mais perguntas a serem respondidas. Portanto, não parem de investigar, questionar e explorar. Por fim, quero ressaltar que a Gaiola de Faraday é apenas um exemplo de como a ciência e a investigação podem nos ajudar a compreender e resolver problemas. O método científico é uma ferramenta poderosa que nos auxilia na busca por soluções para questões complexas em todas as áreas do conhecimento.

No contexto educacional, o estudo das ondas mecânicas utilizando tecnologia possibilitou a exploração de forma prática e visual dos conceitos abstratos, bem como investigações experimentais, como o estudo do bloqueio de ondas sonoras. Além disso, a montagem simples de uma gaiola de Faraday utilizando materiais de baixo custo pode ser realizada em sala de aula, estimulando a participação dos alunos e facilitando o entendimento do tema.

Considerações Finais

O estudo integrado de ondas, sob a perspectiva da aprendizagem significativa e do ensino por investigação, consistiu no desenvolvimento de uma aprendizagem que levasse a autonomia do estudante, tanto pelo uso de metodologias ativas mediadas por tecnologia, quanto pelo trabalho em grupo. Assim, foram considerados os conhecimentos prévios para realizar a interação do

conhecimento novo com a realidade cognitiva do estudante (Ausubel, 2003). As atividades implementadas no simulador ajudaram no entendimento das propriedades das ondas mecânicas, pois ajudam o estudante na construção de representação mentais do fenômeno físico (Laird, 1983).

Nesta perspectiva, a sequência didática com características investigativas com o uso dos simuladores para o estudo de conceitos científicos, os discentes puderam manipular os recursos visuais para explorar as propriedades das ondas (comprimento de onda, frequência, amplitude e velocidade). Logo, as estratégias didáticas implementadas visavam a aprendizagem significativa ao estabelecer as relações entre os conceitos teóricos e a importância nas aplicações tecnológicas modernas. Considerando que, as atividades permitiram avaliar o aspecto transversal do conhecimento científico do tema onda em vários segmentos da sociedade (indústria, aparelhos médicos, comunicações, energia, descoberta de materiais etc.). Desse modo, destacar os princípios ondulatórios e sua relevância social ajuda a manter o interesse do discente, esclarecem mal-entendidos em relação ao funcionamento das ondas mecânicas e eletromagnética, geram subsunções ligados aos recursos tecnológicos que ajudam a reduzir o elevado grau de abstração e cálculos matemáticos. Igualmente, elaborar estratégias didáticas em grupo utilizando elementos do dia a dia, com o uso de simuladores, celulares, rádio e computadores, o interesse dos discentes pela aprendizagem ocorre espontaneamente, pois aproxima a realidade cotidiana dos conceitos ondulatórios abstratos.

Ao final da experiência investigativa, identificamos que os alunos conseguiram explorar os diferentes tipos de ondas, formação, padrões de interferência, relacionando os comportamentos ondulatórios com as propriedades (comprimento de ondas, frequência, amplitude, velocidade, meio de propagação) aprendidas no estudo de ondas mecânicas de forma significativa (coleta de dados, organização em tabelas e elaboração de gráficos).

Nesse sentido, as atividades com características investigativas buscavam estimular além do pensamento crítico, a capacidade de relacionar diferentes conceitos científicos físicos com aplicações tecnológicas e aprofundar os princípios básicos dos diferentes tipos de ondas. Em decorrência disso, os estudantes demonstraram interesse, engajamento, colaboração e motivação durante a investigação. Visto que, acabaram enriquecendo o processo de aprendizagem pela participação coletiva ao longo da experiência, troca de ideias e ajuda mútua na montagem do aparato experimental. Também observamos que a mediação do professor foi importante, para sanar dúvidas conceituais, incentivar o desenvolvimento das atividades com autonomia, pois a sequência didática foi estruturada para que os estudantes pudessem aplicar o conhecimento prévio ao contexto das aplicações tecnológicas.

É importante ressaltar as limitações da pesquisa em sala de aula, tais como: o interesse e a subjetividade dos estudantes, a capacidade limitada do laboratório de informática não permite aumentar o número de alunos, a dificuldade de replicação dos resultados para outras turmas ou contextos da escola. Adicionalmente, a limitação de tempo para realizar as atividades, impactam a sequência didática no sentido de acompanhar os efeitos do aprendizado a longo prazo. Além disso, a coleta dos dados baseou-se principalmente em observações, apresentações e relatórios dos estudantes, o que pode ter restringido a compreensão de outras dimensões do processo ondulatório, aspectos que podem ser aprofundados em futuras aplicações por meio de outras técnicas de análise (instrumentos de aferição da aprendizagem estruturados).

Concluindo, a construção da conceitualização adotando estratégia didática com o uso tecnologias como simuladores e práticas experimentais com celulares atuou como facilitador da aprendizagem significativa, tornando os conceitos ondulatórios mais tangíveis pela facilidade de visualização dos fenômenos ondulatórios em sala de aula. A dinâmica de investigação em grupo e a posterior discussão dos resultados foram determinantes para o fortalecimento do pensamento crítico. Como resultado, o uso de diferentes materiais na investigação realizada em grupo, permitiram que os estudantes desenvolvessem uma visão integrada sobre o papel da ciência física na sociedade,

reconhecendo o estudo de ondas como pilar fundamental para a compreensão de fenômenos naturais e inovações tecnológicas.

Referências bibliográficas

- Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Michigan: Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D.P. (2000). *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Bacich, L., & Holanda, L. (Orgs.). (2020). *STEAM em sala de aula: A aprendizagem baseada em projetos integrando conhecimentos na educação básica*. Porto Alegre: Penso.
- Brasil. (1996). *Base Nacional Comum Curricular: Tecnologias digitais da informação e comunicação no contexto escolar*. Acesso em 13 dez., 2025, <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>.
- Brasil. (2002). *PCNs+ ensino médio: Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais*. Acesso em 13 dez., 2025. <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>.
- Brasil. (2019). *Curso de especialização em ensino de ciências - anos finais do ensino fundamental (Ciência é 10!)*. UAB/CAPES.
- Brasil. (2022). *Base Nacional Curricular Comum: Computação*. Acesso em 05 dez., 2025, <http://portal.mec.gov.br/docman/fevereiro-2022-pdf/236791-anexo-ao-parecer-cneceb-n-2-2022-bncc-computacao/file>.
- Brasil. (2023). *Lei nº 14.533, de 11 de janeiro de 2023: Institui a Política Nacional de Educação Digital*. Acesso em 05 dez., 2025, https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14533.htm.
- Campos, F. R., & Dias, R. A. (Orgs.). (2020). *Currículo de referência: itinerário formativo em tecnologia e computação*. São Paulo: CIEB.
- Canato Jr., O. (2014). *Física quântica e formação docente: Confluência de várias redes*. São Paulo, (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo). Acesso em 27 dez., 2025, https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-03122014-112144/publico/Osvaldo_Canato_Junior.pdf.
- Carvalho, A. M. P. (2010). As práticas experimentais no ensino de física. In: Carvalho, A. M. P (Ed.), *Ensino de física* (pp. 53-78). São Paulo: Cengage Learning.
- David, D. M. M. (2024). *Atividades experimentais na perspectiva da aprendizagem significativa*. (Monografia, Universidade de Brasília). Acesso em 27 dez., 2025, <https://if.unb.br/trabalho-de-conclusao-de-cursos/>.
- Dewey, John. (1976). *Experiência e educação*. (2. ed.). São Paulo: Ed. Nacional.
- Dewey, John. (1979). *Democracia e educação: Introdução à filosofia da educação*. (4. ed.). São Paulo: Editora Nacional.
- Ferreira, M., De Andrade, V. C., Silva Filho, O. L. D., Paulo, I. J. C., & Moreira, M. A. (2022). Fundamentos, pesquisas, contemporaneidades e tendências no ensino de física no Brasil. *Revista do*

- Professor de Física*, v. 6(Esp.), A1-A4. Acesso em 26 dez., 2025, <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/45957>.
- Ferreira, M., & Silva Filho, O. L. da. (2019). Proposta de plano de aula para o ensino de física. *Physicae Organum - Revista dos Estudantes de Física da UnB*, 5(1), 39-44. Acesso em 27 dez., 2025, <https://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074>.
- Gardner, H. (2006). *Multiple intelligences: New horizons in theory and practice*. New York: Basic Books.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2016). *Fundamentos de física, volume 4: Óptica e física moderna*. (10. ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Hewitt, P. G. (2002). *Física conceitual* (9. ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive Science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.
- Lopes, J. B. (2004). *Aprender e ensinar física*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian.
- Magalhães Junior, C. A. O., & Batista, M. C. (Orgs.). (2023). *Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências*. (2. ed.). Ponta Grossa: Atena.
- Marques, L. V. (2018) *Uma abordagem histórica da indução eletromagnética para o ensino fundamental: Os experimentos do disco de Faraday e do motor homopolar*. (Dissertação Mestrado, Universidade de Brasília). Acesso em 06 dez., 2025, https://mnpef.unb.br/wp-content/uploads/2024/08/lethicia_dissertacao_unb.pdf.
- Moreira, M. A. (1999). A teoria da mediação de Vygotsky. In: MOREIRA, Marcos Antônio. *Teorias de Aprendizagem* (pp. 109-122). São Paulo: EPU.
- Moreira, M. A. (2002). A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e Pesquisa. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1).
- Moreira, M. A. (2012). *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. Livraria da Física.
- Moreira, M. A. (2013). *Aprendizagem significativa em mapas conceituais*. Porto Alegre: UFRGS.
- Moreira, M. A. (2018). Uma análise crítica do ensino de física. *Estudos Avançados*, 32(94), 73-80. Acesso em 13 dez., 2025, <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>.
- Otoni, H. M. (2016). *A Inovação no universo do conhecimento em ciência e tecnologia: Um recorte na física experimental e aplicada* (Tese Doutorado, IBICT/UFRJ). Acesso em 27 dez., 2025, <http://ridi.ibict.br/handle/123456789/911>.
- Phet Interactive Simulations. (s.d.). *Ondas na corda*. University of Colorado Boulder. Acesso em 31 dez., 2025, https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/wave-on-a-string/credits.
- Sasseron, L. H., & De Carvalho, A. M. P. (2016). Alfabetização científica: Uma revisão bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(1), 59-77. Acesso em 27 dez., 2025, <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/246>.
- Sasseron, L. H. (2018). Ensino de ciências por investigação e o desenvolvimento de práticas: Uma mirada para a Base Nacional Comum Curricular. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 18, 1061-1085. Acesso em 08 dez., 2025, <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4833/3034>.

Sasseron, L. H. (2019). Sobre ensinar ciências, investigação e nosso papel na sociedade. *Ciência & Educação*. Acesso em 08 dez., 2025, <https://doi.org/10.1590/1516-731320190030001>.

Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal. (s.d.). *Currículo do novo ensino médio*. Acesso em 02 de dez., 2025, <https://www.educacao.df.gov.br/ensino-medio/>.

Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). *Addition and Subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum. 39-59.

Vergnaud, G. (1996). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEEMPA*. Porto Alegre, (4), 9-19.

Vygotsky, L. S. (1987). *Pensamento e linguagem* (1. ed.). São Paulo: Martins Fontes.