

FENÔMENOS ONDULATÓRIOS: uma proposta de sequência de ensino para turmas do Ensino Fundamental

WAVE PHENOMENA: a proposed teaching sequence for Elementary School classes

Samuel de Santana Rodrigues

samueldesantanarodrigues@gmail.com

José Roberto Tavares de Lima

jroberto@pesqueira.ifpe.edu.br

RESUMO

O objetivo geral deste estudo foi analisar as contribuições da implementação de uma proposta de sequência de ensino, abordando os fenômenos ondulatórios, em turmas com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental em Ciências, utilizando experimentos com materiais de baixo custo. A proposta compreendeu três momentos distintos. O primeiro momento consistiu na aplicação de um teste de sondagem para avaliar os conhecimentos dos estudantes, essencial para identificar lacunas e adaptar a abordagem didática. O segundo momento consistiu na construção prática da sequência experimental, utilizando materiais de baixo custo e os envolvendo na montagem. Selecionamos três experimentos: a Máquina de Ondas, para explorar conceitos de ondas mecânicas; a Interferência em Bacia de Água, para investigar interferências construtivas e destrutivas; e o experimento de Fenda Dupla para Luz, para estudar ondas eletromagnéticas. O terceiro momento consistiu na aplicação de um teste final para analisar os avanços na aprendizagem após a implementação da sequência de ensino. A coleta de dados envolveu 119 estudantes. Os resultados indicaram que a experimentação na sequência de ensino foi uma boa alternativa didática e contribuiu para o processo de ensino e aprendizagem. Expandimos a possibilidade de utilização da proposta de sequência de ensino para turmas de Física no ensino médio para contextualização do ensino de ondulatória.

Palavras-chave: Ensino de Física. Fenômenos ondulatórios. Sequência de ensino.

ABSTRACT

The general objective of this study was to analyze the contributions of implementing a proposed teaching sequence, addressing wave phenomena, in classes with students in the 9th year of Elementary School in Science, using experiments with low-cost materials. The proposal comprised three distinct moments. The first step consisted of

applying a survey test to assess students' knowledge, essential for identifying gaps and adapting the teaching approach. The second moment consisted of the practical construction of the experimental sequence, using low-cost materials and involving them in the assembly. We selected three experiments: the Wave Machine, to explore concepts of mechanical waves; Water Basin Interference, to investigate constructive and destructive interference; and the Double Slit for Light experiment, to study electromagnetic waves. The third moment consisted of applying a final test to analyze progress in learning after implementing the teaching sequence. Data collection involved 119 students. The results indicated that experimentation in the teaching sequence was a good didactic alternative and contributes to the teaching and learning process. We expanded the possibility of using the proposed teaching sequence for Physics classes in high school to contextualize wave teaching.

Keywords: Teaching Physics. Wave phenomena. Teaching sequence

1 INTRODUÇÃO

O uso de experimentos no ensino de Física é uma das alternativas de despertar a curiosidade científica dos estudantes, pois se diferencia da forma tradicional de ensino em que se enfatiza a exposição de conteúdos e a memorização de fórmulas. Segundo Silva, Ferreira e Vieira (2017) um dos fatores de importância para evoluir a qualidade de ensino de ciências é relacionar a teoria com a prática por meio da experimentação. O uso da experimentação assistida e direcionada pode contribuir para a construção do conhecimento científico, sendo fundamental para que os estudantes assimilem os conteúdos passados em sala de aula.

A metodologia de como os professores conduzem as suas aulas pode se constituir na diferença entre o aluno compreender o conceito físico, conseguindo relacioná-lo com o seu cotidiano ou apenas memorizar resultados e tirar conclusões abstratas. A utilização de experimentos que relacionam os fenômenos do cotidiano dos estudantes amplia as possibilidades de intervenções a serem vivenciadas em sala de aula, prevendo resultados de aprendizagem positivos.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), o ensino de Ciências Naturais deverá se organizar de forma que, ao final do Ensino Fundamental, os alunos tenham desenvolvido algumas capacidades, entre elas destaca-se:

Saber combinar leituras, observações, experimentações e registros para coleta, comparação entre explicações, organização, comunicação e discussão de fatos e informações; elaborar, individualmente e em grupo, relatos orais e outras formas de registros acerca do tema em estudo, considerando informações obtidas por meio de observação, experimentação, textos ou outras fontes (BRASIL, 1998, p. 33).

Partindo das análises de Wittmann et al (1999) os estudantes de ensino médio quando se iniciam o estudo de ondas mecânicas, quando se é utilizado exemplos de ondas mecânicas em cordas, os estudantes associam a velocidade de propagação do pulso de uma onda à rapidez com que a mão da pessoa movimenta a corda. Dessa

forma comumente é notado que os estudantes confundem a velocidade dos pontos da corda com a velocidade de propagação dos pulsos ondulatórios.

Com relação ao tamanho dos pulsos de uma onda, Wittmann et al (1999) verificou que a forma com que os estudantes pensam sobre alguns conceitos variam em dois tipos: Tem aqueles que associaram a velocidade da onda dizendo que os pulsos mais largos são os mais rápidos, por outro lado teve outros que disseram que os pequenos pulsos são os mais rápidos.

Sobre tamanho dos pulsos e velocidade da onda, Viennot (2001) realizou algumas análises com grupos de estudantes. Afirmou que é comum os estudantes relacionarem o formato e a amplitude do pulso à sua velocidade, e realizou a aplicação de um teste com um grupo de 30 alunos e inicialmente cerca de 70% responderam que a diminuição da amplitude de uma onda, ocorre por conta da diminuição da velocidade e posteriormente detectou uma redução para 50%.

Wittmann et al (1999) destacam que algumas respostas dos estudantes sobre a propagação dos pulsos em cordas podem variar conforme o estilo da pergunta. Quando foram expostos a testes onde existiu uma referência relacionada ao meio de propagação, eles tendem a considerar como algo importante. Porém, o mesmo não acontece por exemplo em testes discursivos onde não tenha essas referências.

Outros pesquisadores que desenvolveram estudos com a temática do ensino de ondas mecânicas e propagação de ondas em um grande grupo de estudantes foram Caleon e Subramaniam (2010) que estudaram um grupo de 300 estudantes de Ensino Médio que responderam um teste com perguntas objetivas. Um dos questionamentos foi sobre, caso a frequência aumentasse, quais efeitos teriam na velocidade. Percentual acima de 60% dos estudantes responderam que a velocidade de propagação aumentava conforme a frequência aumentava. Outro questionamento foi sobre como ocorre o movimento de uma onda periódica. Neste questionamento foi verificado que 40% dos estudantes responderam que a onda que vem de trás empurra a onda a frente e isso é o que gera a força que movimenta a onda.

Diante de alguns estudos já realizados a respeito do processo de aprendizagem dos fenômenos ondulatórios, nos propomos a estudar as contribuições da implementação de uma proposta de sequência de ensino, abordando os fenômenos ondulatórios, em turmas de estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental em Ciências, utilizando-se de experimentos com materiais de baixo custo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Refletindo sobre o uso da experimentação como ferramenta de ensino

Conforme Pessanha et al (2010), o uso da prática experimental é importante e auxilia no ensino das Ciências Naturais. É uma forma de conhecer na prática alguns fenômenos e relacioná-los com os conteúdos abordados em sala de aula, permitindo ao estudante a oportunidade de conhecer ferramentas utilizadas na prática científica.

Para Ferreira et al (2010), a experimentação no ensino pode se constituir em um excelente recurso pedagógico para auxiliar na construção de conceitos, no qual os alunos são submetidos a situações de realizarem pesquisas, combinando simultaneamente conteúdos conceituais e conhecimentos adquiridos através das práticas vividas.

Os experimentos que possuam relações com o cotidiano do estudante ou até mesmo com elementos já conhecidos, podem se constituir como uma ferramenta de contextualização. Em outras palavras, a experimentação pode ser uma ponte entre os conceitos ensinados e o que é real e de fato presente no cotidiano dos estudantes.

Outra questão interessante é a participação e interação do aluno durante as atividades utilizando experimento. Comumente o professor para abordar alguns fenômenos físicos se limita a apresentação de tais conceitos com a utilização de registro de informações no quadro ou uso de equipamento de projeção. Na situação de vivências utilizando experimentos, percebemos a possibilidade de interação entre os estudantes e maior envolvimento do estudante em vivenciar o mundo concreto.

De acordo com Branco e Moutinho (2015), o uso de atividades lúdicas ou experimentos pode contribuir para uma melhor compreensão dos conceitos que estão sendo apresentados e presentes no cotidiano, além de permitir a vivência de fenômenos físicos e variação das grandezas físicas envolvidas com a coleta de dados.

Encontramos pelo menos duas dinâmicas de utilização de experimentação em sala de aula: uma delas seria a utilização do experimento em que o aluno apenas é exposto ao fenômeno e a outra seria a de proporcionar ao estudante a vivência de montagem do experimento, criando um ambiente de coleta de dados e discussão sobre a atividade realizada e entendimento do que foi feito.

Conforme Duarte (2012), ao apresentar experimentos simples para os estudantes, tais como cadeiras giratórias, demonstrando a Conservação do Momento Angular, a identificação do aluno com os resultados é imediata. No entanto, ao lançar equações matemáticas que descrevem esses fenômenos, nota-se que existe uma lacuna e grande dificuldade em evoluir da observação dos fenômenos para a construção e compreensão dos modelos matemáticos.

2.2 Apresentando os Fenômenos Ondulatórios

O conceito de onda na Física é algo indispensável no estudo de certos fenômenos. É por meio das ondas que podemos ouvir o som emitido por um instrumento musical (ondas sonoras) e enxergar o mundo a nossa volta (ondas de luz). De acordo com Bonjorno et al (2016), uma onda pode ser definida como sendo uma perturbação do meio que se propagam. Estas ondas são entendidas como pulsos energéticos que se propagam através do espaço transportando apenas energia, não havendo transporte de matéria.

Figura 1- Fenômeno ondulatório na água



Fonte: Brasil Escola (2022)

Podemos exemplificar um fenômeno ondulatório como o ato de jogar uma pequena pedra nas águas de um lago. Percebe-se uma perturbação do, então, meio,

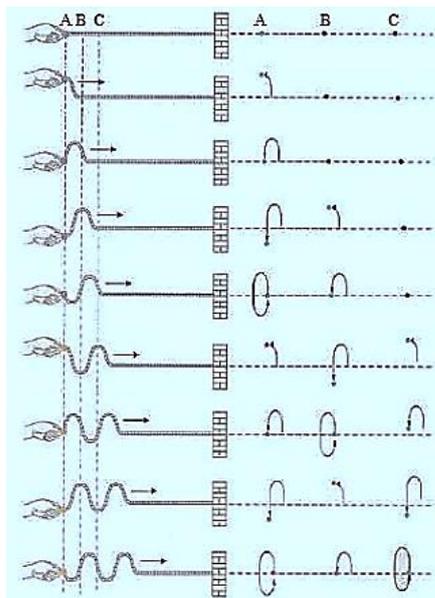
no caso a água. Nota-se que no ponto onde a pedra alcançou a água (centro) é formada uma linha que circunda esse ponto, como podemos perceber na Fig. 1.

À medida que o tempo passa, esta elevação que nos parece uma linha, tem o seu raio aumentando e outras linhas circulares são formadas e seus raios são aumentados posteriormente, permitindo uma visualização da propagação das ondas. Pode-se observar que após o ponto ser perturbado, ele volta a seu estado de repouso, mas a onda continua a se propagar.

2.2.1 Definindo as Ondas Periódicas

Uma onda periódica consiste em uma perturbação em que exhibe um comportamento padronizado, ou seja, após um intervalo de tempo, possui o comportamento de repetir, o que chamamos de comprimento de onda. Por exemplo, no caso dos pulsos de ondas produzidos em uma corda presa, sendo uma extremidade fixa e a outra presa a uma fonte que gera pulsos (podendo ser a mão da pessoa que movimentava a corda), como representado na Fig. 2. Se a fonte realiza movimentos periódicos, tem-se então uma onda periódica.

Figura 2 - Representação de uma onda periódica



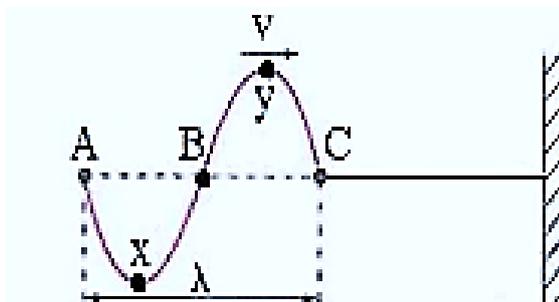
Fonte: Ferraro et al (1988)

De acordo com Ferraro et al (1988), temos que o ponto A, representado na Fig. 2, à medida que a onda se propaga, as partículas da corda vão transferindo energia às outras até que os pontos B e C, que repetem o movimento feito pela fonte posteriormente, passando seu movimento adiante. Quando o ponto A completa seu ciclo harmônico, ou seja, vai de seu eixo horizontal pontilhado até seu ponto mais alto, desce passando no eixo horizontal novamente e chega a seu extremo inferior e, então, retornando ao eixo horizontal, a perturbação da corda atinge o ponto C.

Pode-se então definir o período T como o tempo em que o ponto A termina o seu ciclo alcançando C. A partir deste momento o ponto C também vibrará de acordo com A, fazendo ciclos harmônicos idênticos, de maneira que os pontos A e C estarão na mesma posição vertical ao mesmo tempo, pode-se dizer então que estes pontos

estão em fase entre si. O caminho percorrido pela perturbação enquanto o ponto A fecha seu ciclo é chamado de comprimento de onda, representado pela letra grega lambda (λ).

Figura 3 - Elementos de uma onda



Fonte: Ferraro et al (1988)

O ponto x, apresentado na Fig. 3, ponto no qual a elongação é mínima da onda na corda, é denominado de *vale* da onda. O ponto Y é a elongação máxima de vibração da corda, denominada de *crista* da onda. O comprimento de onda λ pode ser definido como a distância em que dois pontos consecutivos entre si que oscilam em fase. Se há um movimento harmônico na corda, pode-se dizer que a velocidade de propagação da onda é constante, tendo um movimento uniforme. Da cinemática, aplica-se o conceito de velocidade média, expresso pela Equação 1:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1)$$

Na Equação 1, temos o ΔS que consiste no comprimento de onda (λ) na corda e o Δt expressa o período de oscilação (T). Para um ciclo completo, podemos expressar a velocidade através da Equação 2.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

Sabendo que frequência pode ser determinada pelo inverso do período T , ou seja, $f = 1/T$, logo teríamos a relação matemática para a velocidade de uma onda expressa pela Equação 3.

$$v = \lambda \cdot f \quad (3)$$

A frequência de uma onda será sempre a mesma que a fonte emissora, independente do meio em que a onda se propague. Já a velocidade e o comprimento de onda podem se alterar conforme o meio de propagação.

2.3 Classificação dos tipos de ondas

As ondas podem ser classificadas segundo ao meio em que se propagam como ondas mecânicas ou ondas eletromagnéticas.

2.3.1 Ondas Mecânicas

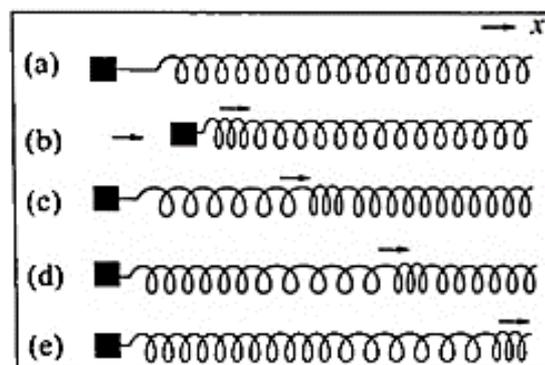
Exposto por Halliday e Resnick (2009), o conceito de ondas mecânicas se trata do grupo de ondas que necessitam de um meio material para a sua propagação, como por exemplo as ondas produzidas por uma corda, em que sem a presença do meio (a corda) não seria possível a existência desta onda. Outros exemplos de ondas mecânicas familiares, por encontrarmos constantemente, são as ondas do mar, as ondas sonoras e as ondas sísmicas. Todas essas ondas possuem duas características: são governadas pelas Leis de Newton e existem apenas em um meio material como a água, o ar ou rochas. Segundo Ferraro (1998), as ondas sonoras são produzidas pelo movimento de vibração das moléculas do ar (denominadas de ondas longitudinais). Quando essas moléculas se movimentam, provocam uma certa perturbação que se propaga até nós, as quais podem ser captadas por nossas estruturas auditivas.

2.3.1.1 Ondas Longitudinais e Transversais

Moysés (2014) define que as ondas longitudinais se referem a propagação de uma onda de compressão ao longo de um meio que está em equilíbrio.

Como ilustrado na Fig. 4, a região (a) exibe o status da mola inicialmente e ao ter a extremidade subitamente comprimida em (b). Note que, logo após as espiras comprimidas, há algumas *rarefeitas*, ou seja, com espaçamento maior do que na posição de equilíbrio. Assim, a onda de compressão é seguida por outra de rarefação. Se acompanharmos o movimento de uma dada espira, por exemplo, a primeira, vemos que ela se desloca para a direita e depois para a esquerda, retornando à posição de equilíbrio. Este é um exemplo de uma onda longitudinal, em que a perturbação transmitida pela onda (compressão ou rarefação) ocorre ao longo da direção de propagação da onda.

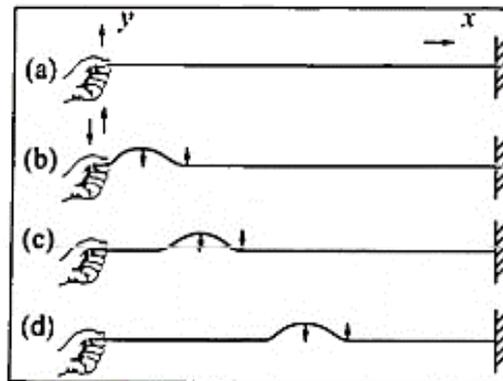
Figura 4 - Representação de uma onda longitudinal em uma mola



Fonte: Moysés (2014)

Moysés (2014) expõe um exemplo de onda transversal, como ilustrado na Fig. 5, representando uma corda esticada e aplicando um impulso em sua extremidade, e sacudindo-a para cima e para baixo, representados nas regiões (a) e (b). O pulso se propaga como uma onda ao longo da corda, na direção x da região (b) até (d). Cada ponto da corda oscila para cima e para baixo, ou seja, a perturbação é um deslocamento na direção y , perpendicular à direção de propagação da onda.

Figura 5 - Representação de uma onda transversal em uma corda.

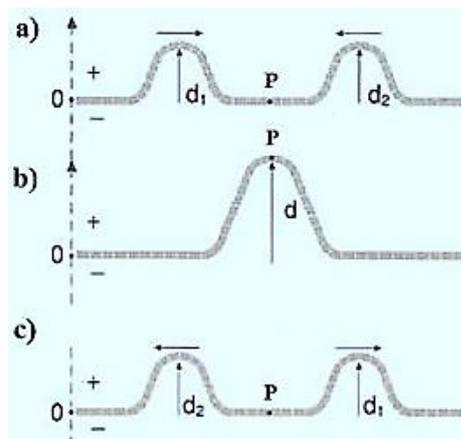


Fonte: Moysés (2014)

2.3.1.2 Interferência em ondas mecânicas

De acordo com Silva (2022b), a interferência de ondas é o fenômeno que ocorre em virtude do encontro simultâneo de duas ondas que se propagam no mesmo meio com sentidos contrários. Podemos supor que tenhamos uma corda com uma extremidade fixa e outra livre, e se pegarmos a extremidade livre e fizermos um movimento de sobe e desce com a corda, veremos a formação de ondas que se propagam nela. Se por um acaso duas pessoas pegarem uma corda e em ambas as extremidades começarem a executar um movimento de sobe e desce, veremos a formação de ondas que se propagam no mesmo sentido. Mas quando essas ondas se encontram, acontece o fenômeno de interferência de ondas. Segundo Silva (2022b) quando duas ou mais ondas chegam ao mesmo tempo a um ponto em comum de um meio, ocorre o fenômeno da interferência, ou seja, as ondas se superpõem naquele ponto, originando um efeito que é o resultado da soma algébrica das amplitudes de todas as perturbações no local de superposição.

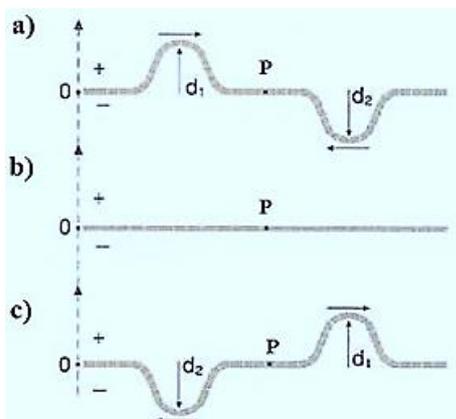
Figura 6 - Representação de interferência construtiva em uma corda



Fonte: Ferraro et al (1988)

Na Fig. 6 temos uma representação de pulsos de ondas com sentidos de deslocamento iguais, que quando o primeiro pulso se encontra com o segundo pulso, observa-se que os dois se sobrepõem em (P), e ocorre um pulso com um deslocamento superior que os dois anteriores, em que temos a construção de uma interferência construtiva.

Figura 7 - Representação de interferência destrutiva em uma corda



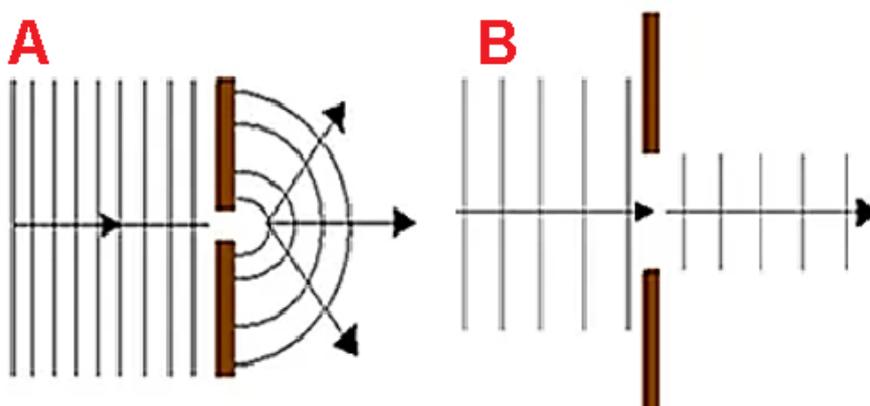
Fonte: Ferraro et al (1988)

Temos na Fig. 7, representações de dois pulsos se propagando com inversão de fase, ou seja, o sentido de deslocamento vertical é inverso entre eles, ao se encontrarem em P ocorre um enfraquecimento dos pulsos, ocorrendo o que denominamos de interferência destrutivas.

2.3.1.3 Difração em ondas mecânicas

Segundo Silva (2022a), o fenômeno denominado de difração é o desvio ou espalhamento sofrido pela onda quando esta contorna ou transpõe obstáculos colocados em seu caminho. Na Fig. 8 A, observamos a representação do fenômeno de difração ondas. Para que ocorra a formação desse fenômeno é necessário que o tamanho da fenda ou do obstáculo seja comparável ao comprimento de onda, ou seja, à distância entre as duas cristas ou vales da onda incidente. No entanto se o comprimento do obstáculo for muito maior que o comprimento de onda, não é possível que ocorra a difração conforme notamos na Fig. 8 B. Podemos dizer que tal fenômeno acontece a todos os tipos de ondas e é facilmente perceptível em se tratando de ondas sonoras. Um exemplo da difração sonora é quando estamos ouvindo uma música sendo tocada do outro lado de um muro. A maior ou menor capacidade que uma onda tem de sofrer difração está relacionada ao tamanho do obstáculo a ser contornado ou à largura da passagem a ser transposta e o seu comprimento de onda.

Figura 8 - Representação do fenômeno difração de uma onda



Fonte: Brasil escola (2022)

A difração será tanto mais intensa quanto maior for o comprimento de onda quando comparado ao tamanho do obstáculo. Em outras palavras, a onda contorna mais facilmente os obstáculos quando estes são pequenos, se comparados ao comprimento de ondas das ondas.

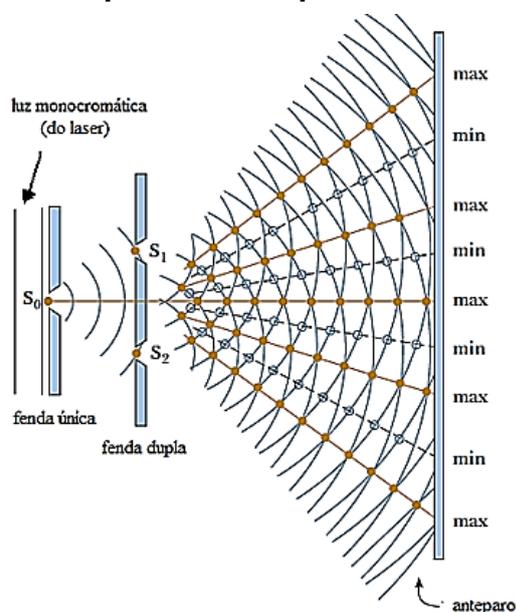
2.3.2 Ondas Eletromagnéticas

Halliday e Resnick (2009) enunciam que as ondas do tipo eletromagnéticas podem ser menos familiares, mas estão entre as mais usadas, e temos como exemplos importantes a luz visível, a luz ultravioleta, as ondas de rádio e de televisão, as micro-ondas, os raios X e as ondas de radar. Estas ondas não precisam de um meio material para se propagar. As ondas luminosas provenientes das estrelas, por exemplo, atravessam o vácuo do espaço para chegar até nós. Todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a mesma velocidade ($c = 299792458$ m/s).

2.3.2.1 Interferência em Ondas Eletromagnéticas

De acordo com Halliday e Resnick (2009) ao se colocar duas fontes de ondas eletromagnéticas próximas possuindo as mesmas frequências e os mesmos comprimentos de onda, estas ondas irão se propagar pelo espaço a sua volta até que as ondas produzidas por elas se encontrem e se interfiram entre si. Sendo uma onda luminosa, é preciso colocar um anteparo onde é possível visualizar a sua reflexão.

Figura 9 - Representação de interferência luminosa de onda eletromagnética por fenda dupla



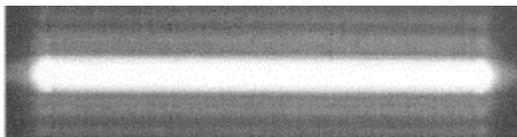
Fonte: Physicist (2022)

Observa-se na Fig. 9, o resultado da interferência luminosa gerada pelas ondas eletromagnéticas ao passar pela fenda, em que a interferência é notada em maior grau nas partes mais iluminadas, chamados máximos de interferência, e as regiões escuras, os mínimos de interferência, ou seja, em uma interferência totalmente destrutiva neste ponto não há presença de luz.

2.3.2.2 Difração em Ondas Eletromagnéticas

O fenômeno de difração para as ondas eletromagnéticas, se tratando da luz, consiste em um alargamento do feixe luminoso e interferindo consigo mesma, formando formas de difração da onda ao passarem por fendas de dimensões comparáveis ao tamanho do comprimento de onda (HALLIDAY e RESNICK, 2009).

Figura 10 - Difração de um feixe de luz em uma tela



Fonte: Halliday e Resnick (2009)

Podemos observar na Fig. 10 que na parte central a refração do feixe de luz é mais larga, sendo mais intenso, chamado de máximo central, enquanto os outros feixes luminosos são menos intensos e mais estreitos, chamados de máximos laterais.

3 METODOLOGIA

Em nosso estudo nos utilizamos de uma abordagem qualitativa, a qual consiste em um método de investigação do tipo científica em que o objeto é analisado através das concepções, em que o pesquisador irá avaliar se teve ou não contribuições positivas (CARDANO, 2017). A pesquisa qualitativa, possibilita uma flexibilidade maior na coleta de dados, pois permite que seja investigada sobre outras perspectivas na hora de análise.

3.1 Campo e Sujeitos da Pesquisa

Nossa pesquisa foi realizada em uma escola da área urbana do município de Arcoverde, localizada a 260 km de Recife, capital de Pernambuco. Os sujeitos da pesquisa consistiram em 119 estudantes, com idades compreendidas entre 13 e 16 anos, distribuídos em três turmas do 9º ano do Ensino Fundamental II, sendo uma média de 38 estudantes em cada sala.

A nossa investigação buscou utilizar um ensino experimental para aplicação em sala de aula, buscando prender a atenção dos estudantes, para que eles possam interpretar melhor os fenômenos físicos. Desenvolvemos o trabalho na Escola de Referência em Ensino Fundamental Antônio Japiassu (EREF- Antônio Japiassu).

A escola campo foi escolhida porque o pesquisador atuava como professor na disciplina de prática experimental em ciências, surgiu então, a ideia de incrementar as aulas com uma sequência experimental de Física seguindo o conteúdo programático de ciências do 9º ano.

3.2 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa envolveu três turmas do 9º ano, classificadas em turma A, B e C, onde trabalhamos por turmas separadas. Quanto aos procedimentos metodológicos realizamos diversas atividades, inclusive uma revisão de literatura, que de acordo com Severino (2007), é aquela desenvolvida a partir de material já elaborado e

disponível, constituído principalmente de documentos impressos em livros, artigos científicos, dissertações e teses. Para uma melhor compreensão da sequência de ensino desenvolvida, descrevemos as atividades no Quadro 1.

Quadro 1 – Procedimentos Metodológicos

Atividade	Descrição
Revisão de Literatura	Para o desenvolvimento desta pesquisa, baseamos em autores que produziram estudos sobre ondas mecânicas e eletromagnéticas desde abordagens de dificuldades para o ensino de tais conteúdos como também a conceitos e definições.
Desenvolvimento e escolha dos Experimentos	Para os experimentos inseridos na sequência de ensino foram analisados cerca de dez trabalhos publicados sobre a temática experimental de ondas mecânicas e eletromagnéticas. Os experimentos que analisamos, foram: cuba de ondas, cordas vibrantes, tubo de Kundt, velocidade das ondas em uma caixa, velocidade das ondas estacionárias em uma mola, telefone sem fio, máquina de ondas com palitos, ondas em uma bacia, bloqueador de sinal de papel alumínio e fenda dupla para luz. Após essa análise, para nossa sequência decidimos utilizar três experimentos: Máquina de ondas, Bacia de água e a fenda dupla para a luz de Thomas Young.
Planejamento da Sequência	Como trabalhamos com turmas com um quantitativo grande de estudantes, iniciamos dividindo a turma em grupos, ficando 4 grupos por turma com 8 estudantes, para uma melhor organização da sequência de ensino. A escolha dos materiais optamos por matérias de baixo custo e reutilizáveis, possibilitando assim que o estudante caso tenha interesse pudesse replicar a experimentação sem dificuldades quanto aos materiais. O tempo investido para o desenvolvimento da sequência de ensino foi cerca de dois meses e uma semana.
Aplicação do Questionário de Sondagem	O questionário inicial continha oito questões sobre Ondas, com o objetivo de sondar as concepções iniciais dos estudantes sobre ondas mecânicas e eletromagnéticas, tipos de ondas, representações de ondas, comprimento de onda, frequência e elementos que compõem uma onda tais como: crista, vale, período e amplitude.
Vivência da Experimentação	A sequência experimental foi vivenciada ao longo de três semanas.
Aplicação do Questionário Final	O questionário final foi aplicado após a sequência experimental com o objetivo de comparar a aprendizagem.
Análise dos Dados Coletados	Fase dedicada para análise dos dados coletados.
Produção dos textos sobre os Resultados	Espaço destinado a exposição dos resultados produzidos.

Fonte: Autoria Própria (2023)

3.3 Instrumentos da Pesquisa

Um dos instrumentos da Pesquisa que implementamos foi a utilização e construção, por parte dos estudantes, de aparatos experimentais a serem explorados em sala de aula, momento esse de parceria entre o professor pesquisador contando com a participação de outros professores da área de ciências. A dinâmica consistiu em uma montagem inicial e execução de uma vivência investigativa em que o

professor pesquisador mediava a exploração do experimento e após a observação do fenômeno, os estudantes buscavam a compreensão dos conceitos envolvidos.

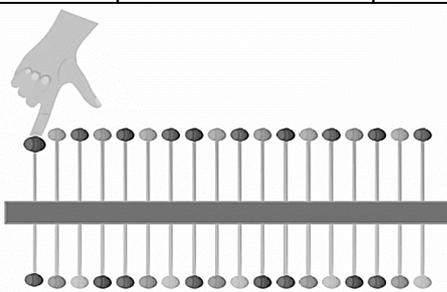
3.3.1 Construção de Experimentos Didáticos

Foram desenvolvidos os experimentos conhecidos como: Máquina de Ondas, Bacia de água para gerar ondas e Experimento de Thomas Young (Fenda dupla).

3.3.1.1 Experimento 1: Máquina de ondas

O Experimento Máquina de Ondas possibilita explorar o fenômeno de Ondas Mecânicas visualizando os elementos que as compõem, tais como: a crista, o vale, o comprimento da onda e sua amplitude. No Quadro 2, descrevemos um detalhamento de construção do experimento.

Quadro 2 – Detalhes do Experimento Máquina de Ondas

Atividade	Descrição
Procedimento para Montagem	Estica-se a fita adesiva sobre a superfície deixando um espaçamento de 5 cm entre cada palito de churrasco. Fixe os palitos na parte central da fita para que fiquem equilibrados. Monta-se os contrapesos, utilizando bala de goma atravessando em cada lado dos palitos conforme ilustrado na Fig. 11. Após a finalização da montagem, as extremidades da fita devem ser presas em um suporte
Duração	Foi destinado o tempo de duas aulas (cada aula com 50min), totalizando um tempo de 1h40min. A primeira aula foi utilizada para a o procedimento de montagem do experimento. A segunda aula foi utilizada para discussões a respeito do funcionamento e dos fenômenos ondulatórios que iriam resultar o experimento.
Ilustração do experimento	
Material Utilizado	<ul style="list-style-type: none"> ● 30 palitos de churrasco ● Fita adesiva larga ● Balas de goma açucaradas

Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 11 - Máquina de ondas (montagem dos palitos com a bala de goma)

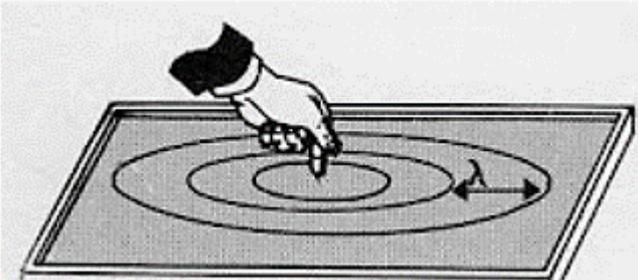


Fonte: Autoria Própria (2023)

3.3.1.2 Experimento 2: Bacia de água e interferência de ondas

Para uma melhor compreensão a respeito do conceito físico de interferência em ondas, realizamos a experimentação da Bacia de água, que possibilita explorar e visualizar as interferências após serem geradas duas ondas consecutivas, no Quadro 3, descrevemos a construção do experimento.

Quadro 3 – Detalhes do Experimento Bacia de água e interferência de ondas

Atividade	Descrição
Procedimento para Montagem	Em uma bacia preenchida com água até as bordas, deve-se provocar uma perturbação na parte central da bacia, gerando a criação de pulsos circulares na água. Após isso deve-se provocar novamente a perturbação na bacia de água, utilizando dois conta gotas deixando pingar uma gota próxima a outra.
Ilustração do experimento	
Material Utilizado	<ul style="list-style-type: none"> • Bacia de plástico grande ou balde • Água para preencher • Conta gotas
Duração	Foi utilizado o tempo de uma aula (50min), dividido entre a montagem experimental e após isso discussões dos resultados esperados

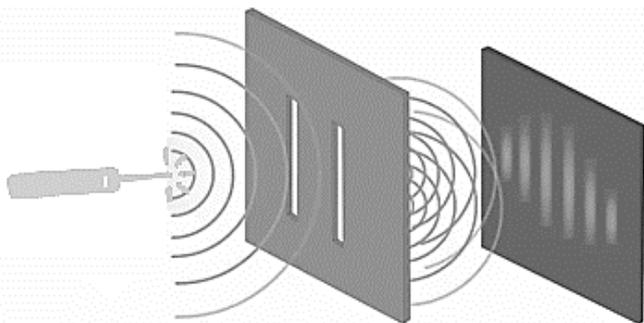
Fonte: Autoria Própria (2023)

3.3.1.3 Experimento 3: Experimento de Thomas Young (Fenda Dupla)

No caso de interferência de ondas eletromagnéticas, utilizamos o experimento de Thomas Young para o princípio da superposição de ondas, que se remete ao experimento da Fenda dupla, no qual um feixe de luz interfere nele mesmo, após sofrer uma difração por um par de fendas. Para nossa sequência didática, este se trata de uma releitura deste famoso experimento com utilização de matérias de baixo custo, em que no Quadro 4, descrevemos o detalhamento de sua construção.

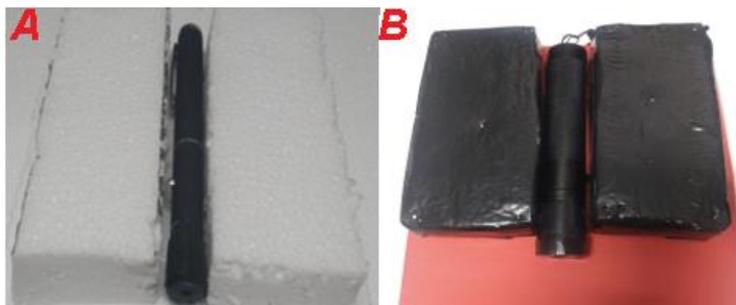
Quadro 4 – Detalhes do Experimento da Fenda dupla para luz

Atividade	Descrição
Procedimento para Montagem	Utiliza-se um bloco de isopor com as dimensões de 25 cm x 15 cm x 5 cm para base e dois blocos de 15 cm x 5 cm x 3 cm fixados em cima da base conforme podemos ver na Fig. 12 A. A base de isopor foi revestida com fita vermelha e as duas peças de apoio menores foram revestidas utilizando fita isolante cor preta para evitar possíveis reflexões do laser, como exposto na Fig. 12 B. Os dois blocos menores de isopor ficam a uma distância de 2,5 cm um do outro, formando um espaçamento que permite o encaixe do laser. Para a formação da fenda dupla foi fixado um pequeno fio de arame no centro do feixe do laser, ficando assim um espaçamento duplo, conforme a Fig. 13.

Duração	Foi destinado o tempo de duas aulas totalizando um tempo de 1h40min. A primeira aula foi utilizada para a o procedimento de montagem do experimento. A segunda aula foi utilizada para discussões a respeito do funcionamento e dos fenômenos ondulatórios envolvidos no experimento.
Ilustração do experimento	
Material Utilizado	<ul style="list-style-type: none"> ● Laser ponteira verde ● Fio de arame ● Placa de isopor para a base e cola ● Fita isolante cor preta e fita vermelha

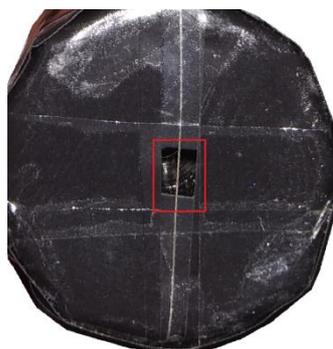
Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 12 - Montagem da Base para fixação do Laser



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 13 - Fenda dupla na ponteira do laser



Fonte: Autoria Própria (2023)

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na primeira etapa de nossa pesquisa, aplicamos um questionário de sondagem com a intenção de investigarmos quais os conhecimentos que os estudantes conseguiam articular com os fenômenos ondulatórios estudados no Ensino

Fundamental II, ou seja, o que eles trazem de conhecimentos prévios ou o que entendem por tais questionamentos. Na sequência, realizamos as vivências experimentais e ao final aplicamos o mesmo questionário para avaliarmos os avanços das concepções dos estudantes.

4.1 Análise dos resultados da Vivência Experimental

O primeiro experimento que realizamos foi a construção da Máquina de Ondas, utilizada com o intuito de visualizar os elementos que compõem a onda, facilitando o entendimento desses conceitos físicos. O professor questionou aos estudantes o que poderia acontecer se a máquina de ondas fosse movimentada, destacamos as seguintes respostas: “Se movimentar a gente vai ver o movimento da onda, aquele vai e vem” (ALUNO H), “Talvez dê para ver um movimento igual a onda do mar” (ALUNO C). Em seguida o professor pergunta se é possível visualizar os elementos de uma onda, onde damos destaque a seguinte resposta: “Sim, professor a máquina de ondas vai ficar oscilando né isso, então vamos ver o vale e a crista já que é a parte de cima e a de baixo” (ALUNO E). Os estudantes notaram que ao mover um dos palitos que inicialmente estava em equilíbrio, é criada uma perturbação que é transmitida por meio do eixo para os palitos seguintes, formando uma onda, exposta na Fig. 14 A. Quando o movimento chegava no final da fita, ocorria o fenômeno de reflexão. Além dos fenômenos de reflexão de onda, foi observado de forma mais nítida as partes que compõem uma onda tais como: a crista, o vale, dimensionamento do comprimento de onda e de sua amplitude, ilustrado na Fig. 14 B. Conforme exposto por Branco e Moutinho (2015) as atividades lúdicas contribuem na aprendizagem, notamos que os estudantes após a experimentação conseguiram compreender de maneira mais nítida os fenômenos ondulatórios estudados através da máquina de ondas, demonstrando pontos positivos para o uso da prática experimental.

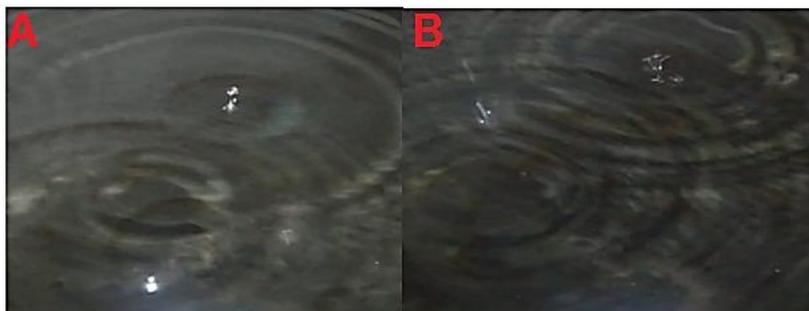
Figura 14 - Observação dos fenômenos ondulatórios na máquina de ondas



Fonte: Autoria Própria (2023)

O segundo experimento que realizamos teve o objetivo de demonstrar as interferências causadas pelas ondas mecânicas na água. Inicialmente foi posto para pingar duas gotas conforme a Fig. 15 A.

Figura 15 – Observações das interferências em ondas na Bacia de água



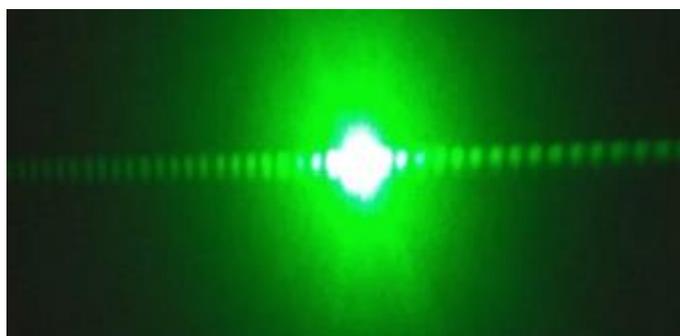
Fonte: Autoria Própria (2023)

Foi perguntado para os estudantes qual fenômeno poderia ser visto quando as gotas de água tocassem a superfície ao mesmo instante, destacamos as seguintes respostas: “Eu acho que quando uma onda toca na outra tem a formação de uma interferência e elas se misturam” (ALUNO C), “Isso aí esse mexido é uma interferência na água” (ALUNO J).

Após as gotas de água tocarem a superfície, ao mesmo instante, os estudantes observaram duas ondas superpondo-se na mesma região da bacia, conforme verificamos na Fig. 15 B, o fenômeno chamado de interferência, que resulta em outra onda com uma intensidade diferente. Com a ocorrência dessas variações na intensidade de onda, geramos as franjas de interferências.

Nosso terceiro experimento foi a fenda dupla para luz. Com a demonstração da fenda dupla é possível visualizar os efeitos de interferência, que são formados pela difração da luz. Como são produzidas pela mesma fonte de origem, as ondas da dupla fenda têm o mesmo comprimento de onda, velocidade de propagação e a mesma frequência. É observado que as cristas produzidas por uma das fendas interferem com as cristas da outra fenda causando interferência. Essa interferência é chamada de construtiva, da mesma forma os vales de ondas que são gerados por uma fenda interferem com os vales de outra fenda, causando a interferência construtiva. Temos a formação do padrão de interferência exposto na Fig. 16, em que podemos notar pelas franjas claras e as escuras.

Figura 16 - Padrão de interferência formado pela Fenda dupla



Fonte: Autoria Própria (2023)

Com a exposição do efeito luminoso na parede o professor pergunta para o grupo de estudantes o motivo de ter aqueles espaçamentos escuros, destacamos as respostas dos estudantes: “Eu acho que poderia ser por conta do segundo tipo de interferência, que seria a interferência destrutiva pois uma se aniquila com a outra e

fica esse espaço escuro” (ALUNO D), já um outro estudante responde “E por conta que teve a crista encontrando o vale né professor aí ficou esse escuro” (ALUNO G). Para visualização desse padrão de interferência temos as franjas claras indicam a formação de interferências construtivas e as escuras a formação de interferências destrutivas que ocorrem com o encontro de crista e vale.

4.2 Análise dos resultados da Aplicação dos Questionários (Sondagem e Final)

Analisando as respostas correspondentes a primeira questão em que abordamos a definição de Ondas Mecânicas, dos 119 estudantes respondentes, apenas 10 estudantes, equivalente a 8,4%, expressaram respostas as quais categorizamos como válidas. Eles conseguiram expressar ideias próximas a que as Ondas Mecânicas são ondas que necessitam de um meio material para se propagar. Destas respostas mais próximas da verdadeira definição, podemos destacar: “Onda mecânica é um tipo de onda produzida pelo som, eu acho” (ALUNO A) e “acho que deve ser uma onda que transporta algum material ao invés de eletricidade” (ALUNO B). Tivemos muitos estudantes que deixaram suas respostas em branco ou com textos como “não sei”.

No Teste Final, 56 estudantes, cerca de 47%, conseguiram expressar suas respostas consideradas válidas. Destacamos as seguintes: “É aquela onda que tem que ter alguma coisa pra ela continuar em frente” (ALUNO C), “Para ter uma onda mecânica tem que ter o ar” (Aluno D), “É diferente da onda eletromagnética, na mecânica precisa de algum tipo de meio pra ela existir, por exemplo no espaço não tem ar então não tem onda mecânica” (ALUNO E). Conforme descrito por Ferreira et al (2010), após o estudante passar pela realização prática os conceitos compreendidos são refinados, conseguimos notar avanços entre a avaliação inicial de sondagem e a final tendo em vista possíveis contribuições positivas geradas pelo uso da experimentação.

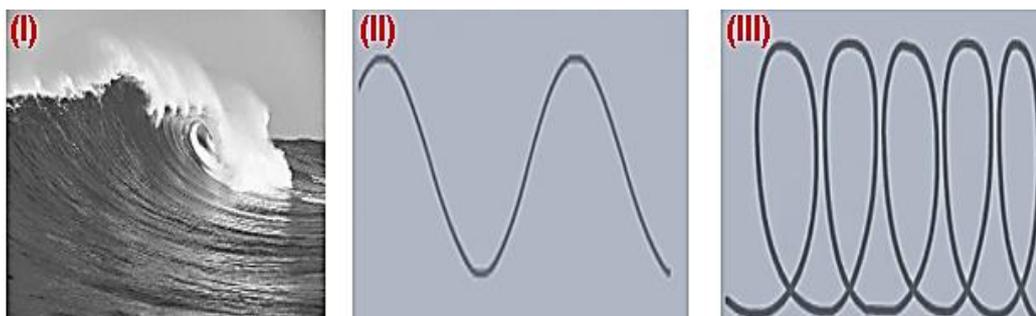
Na segunda questão queríamos saber o que o aluno entendia com relação ao que são Ondas Eletromagnéticas. Tivemos apenas 23 estudantes, 19,3%, com respostas consideradas válidas. Notamos que os estudantes expressaram alguns conceitos próximos as que Ondas Eletromagnéticas são ondas que não necessitam de um meio para se propagar. Destas respostas damos destaques para: “Eu lembro que vi isso em uma série, essas ondas eletromagnéticas são aquelas do roteador de wi-fi e do celular” (ALUNO F), “É uma onda maior que essa mecânica e vai mais longe” (ALUNO G), “O rádio da minha mãe é um exemplo disso daí” (ALUNO H). Tivemos muitas respostas deixadas em branco.

No teste final, tivemos 65 estudantes respondentes, aproximadamente 54,6%, com respostas válidas. Notado um aumento considerável, tanto na quantidade de estudantes que responderam como também na qualidade da resposta. Destacamos: “A luz do sol é um exemplo pois não precisa de um meio pra se propagar” (ALUNO I), “Onda eletromagnética a definição eu esqueci, mas eu sei que são as ondas da luz, o sinal de telefone, as antenas e no hospital também no raio x” (ALUNO J), “Essa onda não precisa de um meio, por isso ela vai longe, diferente da onda mecânica que precisa” (ALUNO K).

Na terceira questão pedimos para os estudantes analisassem e assinassem a opção que se tratava de representações de ondas, conforme podemos observar na Fig. 17. Todas as alternativas (I), (II) e (III) são representações de ondas. Da amostra

apenas 25 responderam que todas as três alternativas são representações de ondas equivalente a 21%. No teste final tivemos 86 estudantes que responderam que as representações de ondas eram todas as alternativas, equivalente a 72,3%, em comparação aos resultados de Viennot (2001), que afirma que é comum os estudantes relacionarem o formato e a amplitude do pulso de uma onda com a velocidade, os estudantes associaram que a representação de uma onda seria a (I) por se tratar da onda do mar e (II) pois parece ser mais rápida em comparação a (III).

Figura 17 – Representações de ondas da terceira questão do questionário



Fonte: Autoria Própria (2023)

Na quarta questão pedimos para os estudantes analisarem as figuras e marcassem as que são representações de ondas eletromagnéticas, como exposto na Fig. 18.

Figura 18 – Representações de ondas eletromagnéticas da quarta questão



Fonte: Autoria Própria (2023)

Para a quarta questão temos a alternativa (I) que se refere a luz solar, alternativa (II) uma representação de transmissão do sinal de rádio, alternativa (III) o sinal wi-fi e a alternativa (IV) o raio X. Todas as alternativas são representações de ondas eletromagnéticas. Tivemos 8 estudantes que marcaram todas as alternativas, equivalente a 6,7%. No teste final, 47 estudantes marcaram todas as alternativas, cerca de 39,5%. Acreditamos que o motivo desse aumento foi a vivência da terceira experimentação em que discutimos sobre as Ondas Eletromagnéticas e após isso construímos o aparato conhecido como fenda dupla para luz. Tivemos 6 estudantes que deixaram em branco sem marcar nenhuma alternativa, o que representa 5%.

Na quinta questão buscamos identificar se o estudante conseguia reconhecer qual tipo de onda é o som. Diante das alternativas disponíveis: a) onda mecânica, b) onda eletromagnética, c) um tipo de onda mista e d) uma onda indefinida. Tivemos 33 estudantes, percentual de 27,7%, sinalizaram corretamente como Onda Mecânica. Enquanto no Teste Final, tivemos 88 estudantes, equivalente a 73,9%, responderam a alternativa correta. Tivemos um grande avanço e percebemos que boa parte dos

estudantes conseguiram responder corretamente, provavelmente devido as contribuições vividas na experiência com a Máquina de Ondas em que discutimos sobre as ondas mecânicas.

Na sexta questão pedimos para o estudante definir o que é o comprimento de onda. Uma possível resposta correta esperada seria como sendo a distância entre valores repetidos sucessivos em um certo padrão da onda. Para essa questão apenas 19 estudantes, equivalente a 15,9%, conseguiram expressar suas respostas consideradas como válidas. Algumas respostas que destacamos são: “É a distância do movimento de subir e descer da onda” (ALUNO L), “Acho que é a distância das ondas” (ALUNO M), “Comprimento vai ser a distância entre uma onda e outra” (ALUNO N). A demais respostas foram “não sei” ou deixadas em branco.

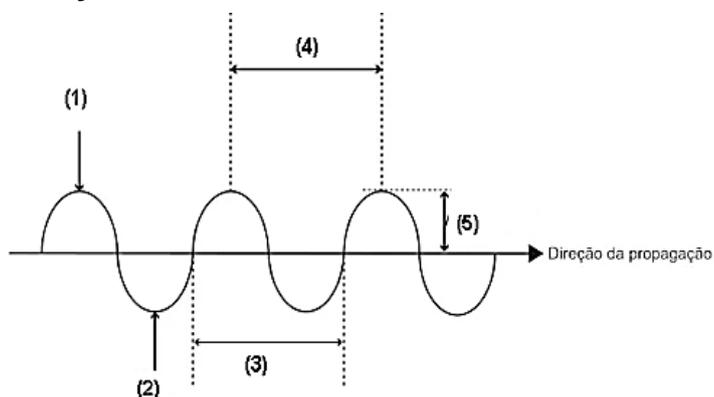
No teste final tivemos um aumento para 41 estudantes, 34,4%, com respostas categorizadas como válidas. Damos destaques para: “O comprimento de onda é a distância entre os vales” (ALUNO O), “comprimento da onda vai ser aquela distância entre os pontos que fica se repetindo” (ALUNO P), “O comprimento é a distância entre as repetições das ondas” (ALUNO Q). Além do aumento de estudantes que acertaram também foi notado um avanço na qualidade das respostas, notado após as experimentações, em que acreditamos que a experimentação tenha contribuído.

Para a sétima questão abordamos sobre a definição de frequência. Uma possível resposta seria que a frequência corresponde ao número de oscilações em um determinado intervalo de tempo. Tivemos apenas 15 estudantes que responderam com respostas categorizadas como válidas, cerca de 12,6%. Destacamos as respostas: “A frequência da onda é quando tem ela se repetindo” (ALUNO R), “Frequência é a quantidade de vezes que a onda tem” (ALUNO S), “Acho que é os movimentos que a onda faz de subir e descer” (ALUNO T).

No teste final tivemos um aumento para 53 respostas, 44,5%. Destacamos as seguintes respostas: “Deve ser a quantidade de vezes que a onda subiu em um minuto” (ALUNO U), “A frequência é as movimentações da onda em um tempo marcado” (ALUNO V), “Vai ser uma oscilação em um tempo, isso é frequência” (ALUNO W).

Para a oitava questão era pedido para o estudante analisar uma figura que representa os elementos de uma onda e marcar a alternativa correta, conforme podemos observar na Fig. 19.

Figura 19 – Representações dos elementos de uma onda na oitava questão



Fonte: Autoria Própria (2023)

A alternativa que responde corretamente é 1 consiste na Crista da Onda, 2 corresponde ao Vale, 3 ao Período, 4 ao Comprimento de onda e 5 a Amplitude. Tivemos 17 estudantes que marcaram a alternativa correta, 14,2%. No teste final tivemos 39 estudantes que marcaram a alternativa correta, 32,7%. Um aumento significativo em comparação ao teste inicial de sondagem. Conforme Duarte (2012), quando mostramos o mesmo conceito para os estudantes relacionando com representações matemáticas ou gráficas, nota-se que existe uma lacuna entre a observação dos fenômenos para a construção e compreensão dos conceitos, na nossa pesquisa tratando da oitava questão em específico notamos que os estudantes tinham o entendimento sobre o que era a crista de uma onda, o vale, comprimento, amplitude os elementos que compõem uma onda, mas quando era pedido para eles indicarem em uma representação através de uma figura gráfica demonstravam dificuldades.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de uma sequência de ensino com a utilização da experimentação para tratar dos fenômenos ondulatórios associados a Ondas Mecânicas e Eletromagnéticas se mostrou uma boa alternativa para aplicação em turmas do ano final do ensino fundamental.

Os dados obtidos após os testes finais possibilitam perceber um avanço na aprendizagem após a articulação de conceitos teóricos com a prática experimental. Por meio da experimentação, os estudantes conseguiram ter uma noção concreta de conceitos físicos tratados na Ondulatória. O trabalho conjunto de aulas teóricas e a realização dos experimentos facilita a compreensão e aumenta a familiaridade com a Física.

A sequência de ensino composta pelos experimentos Máquinas de Ondas, interferências de ondas no balde e a fenda dupla para luz, auxiliou aos estudantes a desenvolverem significado e conseguir relacionar muitos fenômenos da ondulatória ao seu cotidiano. Notamos que com o uso de experimentos tivemos uma participação ativa de boa parte dos estudantes.

A sequência de ensino desenvolvida poderá contribuir para a utilização de professores que atuam nas áreas de Ciências com o ensino de Ondas não apenas no componente curricular do ensino fundamental, mas também aplicada ao seu estudo em turmas do ensino médio.

REFERÊNCIAS

BONJORNO, J. R. R. CLINTON, M. A. AUGUSTO, L. **Física: Eletromagnetismo, Física Moderna**. São Paulo: FTD. v.3, 2016.

BRANCO, Alberto Richielly M. Castelo; MOUTINHO, Pedro E. Conceição. **O Lúdico no Ensino de Física: o uso de gincana envolvendo experimentos físicos como método de ensino**. Feira de Santana: Caderno de Física da UEFS, 2015.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências Naturais. MEC, 1998. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro04.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

CALEON; SUBRAMANIAM. **Explorando conceituação dos estudantes sobre propagação de ondas periódicas**. In: The Physics Professor, v. 48, n. 1, pp. 53 – 58, 2010.

CARDANO, M. **Manual de pesquisa qualitativa**: a contribuição da Teoria da Argumentação. Petrópolis: Vozes; 2017.

DUARTE, S. E. **Física para o ensino médio usando simulações e experimentos de baixo custo**: um exemplo abordando dinâmica da rotação. In: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, 2012 (especial 1).

FERRARO, N. G., SOARES, P. A. T. **Física Básica** - Volume único. São Paulo: Atual, 1998.

FERREIRA, L.H.; HARTWIG, D.R.; OLIVEIRA, R.C. **Ensino experimental de química**: uma abordagem investigativa contextualizada. In: Química Nova na Escola, v. 32, n. 2, 2010.

HALLIDAY, David; RESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física**: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MOYSÉS, Nussenzveig; Herch. **Curso de Física Básica**, 5 ed. São Paulo: Blucher, 2014.

PESSANHA, M. C. et al. **Desenvolvimento de uma ferramenta para o ensino de física experimental a distância**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 4, 2010.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23 ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, A. F; Ferreira, J. H; Vieira, C. A. **O Ensino de Ciências no Ensino Fundamental e Médio**: reflexões e perspectivas sobre a educação transformadora. Revista Exitus, Santarém/PA, v. 7, n. 2, 2017.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. **Difração de ondas**. Brasil Escola, 2022a. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/difracao-ondas.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2023.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. **Interferência de ondas**. Brasil Escola, 2022b. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/interferencia-ondas.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2023.

THE PHYSICIST. **“Does quantum mechanics really say there are other “mes”? Where are they?”** Askmathematician. Disponível em: <<https://www.askamathematician.com/2017/02/q-does-quantum-mechanics-really-say-there-are-other-mes-where-are-they/>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

VIENNOTI L. **Raciocínio em Física**: a parte do senso comum, Kluwer, Dordrecht, 2001.

WITTMANN, M.C.; STEINBERG, R.N.; REDISH, E.F. **Analisando as noções de como os alunos entendem as ondas mecânicas**. In: The Physics Teacher, v. 37, p. 14 – 19, 1999.