

Luciano Haverroth

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM ONDAS MECÂNICAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.
Orientador: Prof. Dr. Kahio Tibério Mazon

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Haverroth, Luciano
ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM ONDAS MECÂNICAS /
Luciano Haverroth ; orientador, Kahio Tibério
Mazon, 2019.
97 p.

Dissertação (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós
Graduação em Física, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Física. 2. Ensino de Física. 3. Ondulatória. 4.
Transporte de Energia. I. Mazon, Kahio Tibério. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Física. III. Título.

Luciano Haverroth

**ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM ONDAS
MECÂNICAS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Ensino de Física” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, nível Mestrado Profissional.

Florianópolis, 01 de fevereiro de 2019.

Prof. Oswaldo de Medeiros Ritter, Phd.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Kahio Tibério Mazon, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Francisco Custódio Filho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luiz Clement, Dr.
Universidade do Estado de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos estudantes
que participaram da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Kahio Tibério Mazon pela paciência e pela colaboração durante o planejamento e execução do projeto.

Agradeço aos demais professores que colaboraram de uma forma ou de outra para o meu crescimento pessoal e/ou profissional.

Agradeço ao companheirismo dos meus colegas de turma, em especial, ao meu amigo e parceiro de viagens, Jonas Bakalarczyk.

Agradeço à toda equipe da Escola de Ensino Básico Prof. Carlos Zipperer Sobrinho que sempre apoiou e proporcionou a aplicação do projeto.

Agradeço à CAPES, pela provisão da bolsa de mestrado.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente puderam proporcionar e colaborar com todo esse processo construtivo.

O sábio teme o céu sereno; em compensação,
quando vem a tempestade ele caminha sobre as
ondas e desafia o vento.
(Confúcio)

RESUMO

Após pesquisas em livros didáticos, além da experiência como docente no ensino médio, percebemos uma lacuna no ensino da ondulatória na Mecânica Clássica, imprescindível para o estudo da Física Moderna. Neste trabalho apresentamos uma proposta de ensino dos fenômenos ondulatórios no ensino médio, com foco no transporte de energia, utilizando para tal atividades experimentais simples. No decorrer da aplicação do projeto, foi possível fazer uma análise das observações, concepções apresentadas e conclusões vivenciadas pelos estudantes que participaram do projeto piloto. Foram produzidos alguns equipamentos experimentais, os quais estão descritos como foram montados, assim como seu funcionamento, para que possam ser replicados e aperfeiçoados por professores do ensino fundamental e médio.

Palavras-chave: Ensino de Física, Experiências, Ondulatória.

ABSTRACT

After research in textbooks, in addition to teaching experience in high school, we noticed a gap in the teaching of wave in Classical Mechanics, essential for the study of Modern Physics. This work presents a proposal of teaching wave phenomena in High School through simple experimental activities. During the application of the project, it was possible to make an analysis of the observations, conceptions presented, and conclusions experienced by students who participated in the pilot experiment. Experimental equipment was produced, which are described how they are assembled, as well as how they work, in order to allow them to be replicated and improved by High School and Elementary School teachers.

Keywords: Physics Education, Experiences, Wave.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Onda eletromagnética	33
Figura 2: Onda sonora	33
Figura 3: Elementos de onda	34
Figura 4: Variação angular	35
Figura 5: Tração na corda.....	36
Figura 6: Fotos estroboscópicas de ondas estacionárias.....	38
Figura 7: Ondas estacionárias.....	39
Figura 8: Interferência de ondas	40
Figura 9: Energia da onda na corda	41
Figura 10: Pêndulo simples	42
Figura 11: Conservação da energia mecânica	43
Figura 12: Atividade A.....	54
Figura 13: Objetos flutuantes	58
Figura 14: Formando ondas estacionárias	60
Figura 15: Formando pulso na corrente.....	64
Figura 16: 1A: Montagem calha de água.....	83
Figura 17: 2A: Disposição no laboratório	84
Figura 18: 3A: Ondas na água	85
Figura 19: 4A: Interferência de ondas	85
Figura 20: 5A: Onda e matéria	86
Figura 21: 1B: Ondas estacionárias	89
Figura 22: 2B: Ondas estacionárias	89
Figura 23: 3B: Ondas estacionárias	90
Figura 24: 1C: Corrente.....	92
Figura 25: 2C: Onda na corrente	93
Figura 26: 3C: Pulso na corda	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFC – Instituto Federal Catarinense

MHS – Movimento Harmônico Simples

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PNLD – Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio

SBF – Sociedade Brasileira de Física

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNISOCIESC – Sociedade Educacional de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2	REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1	A FÍSICA ONDULATÓRIA NA ESCOLA	31
2.1.1	A Física ondulatória, conceitos e medidas	31
2.1.2	A transposição didática.....	44
2.1.3	Atividades experimentais na escola	45
3	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	49
3.1	CONCEPÇÃO INICIAL DO PROJETO	49
3.1.1	Preparação dos Materiais Didáticos.....	50
3.1.2	Exames Diagnósticos.....	51
3.1.3	Estrutura da Escola	52
4	RESULTADOS.....	53
4.1	PARTICIPAÇÃO DOS ALUNOS.....	53
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	53
4.2.1	Respostas da Atividade experimental A – Velocidade das ondas na água	54
4.2.1.1	Houve variação na velocidade de propagação da onda ao longo do percurso?	54
4.2.1.2	Houve dissipação de energia ao longo do percurso no cano? Explique:	56
4.2.1.3	Descreva o que você observou durante e depois dos encontros entre as ondas formadas e refletidas.....	57
4.2.1.4	Os objetos flutuantes são levados pelas ondas?	58
4.2.2	Respostas da Atividade experimental B – Velocidade e ondas estacionárias na corda.....	60
4.2.2.1	Explique como as ondas estacionárias se formaram.	61
4.2.2.2	As fitas se deslocam junto com as ondas formadas? As ondas propagam matéria? Explique:.....	62
4.2.2.3	Ao agitar a corda, que grandeza foi transferida para a corda e transportada pelas ondas? Esclareça:	63

4.2.3	Respostas da Atividade experimental C – Pulso que sobe	64
4.2.3.1	Que tipo de movimento você observou nas ondas formadas? Movimento uniforme, acelerado ou desacelerado?.....	65
4.2.3.2	Que tipo de movimento você esperava que acontecesse?.....	65
4.2.3.3	Quais as diferenças e semelhanças observadas entre o movimento do pulso na corda e na corrente? Explique:	66
4.2.3.4	De acordo com a resposta da questão 1, o que você conclui que é transportado com o pulso da onda? Matéria, energia ou outra grandeza física? Explique:.....	67
4.2.4	Questionário de satisfação	69
4.2.4.1	De modo geral, as atividades ajudaram na compreensão dos conceitos estudados sobre ondulatória? Comente sua resposta:	69
4.2.4.2	Classifique as atividades em ordem de importância para a compreensão dos conceitos estudados, atribuindo 1 (um) para a que menos contribuiu, até 3 (três) para a que mais contribuiu:	71
4.2.4.3	Deixe aqui sua opinião que possa contribuir para melhorias nas atividades propostas: (Use o verso se necessário).....	71
4.3	O PRODUTO EDUCACIONAL.....	74
5	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICE A – Produto educacional	81
	Introdução	81
	Atividade experimental A	82
	Atividade experimental B	87
	Atividade experimental C	91
	Considerações finais	95
	APÊNDICE B – Questionário de satisfação	97

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física no ensino médio tem se caracterizado, em geral, pelo ensino da Física Clássica, com destaque para a Mecânica Newtoniana, Termologia, Óptica Geométrica, Eletrostática e, quando possível, Eletrodinâmica. Ha muito se fala na implantação da Física Moderna no currículo do Ensino Médio, porém o tempo reduzido para o ensino de Física deixa dúvidas quanto à importância que deve ser dada a cada tema, assim como a permanência ou não de algumas áreas da Física Clássica. A realidade é que a implantação dos conteúdos de Física Moderna no Ensino Médio sem uma base concreta de conceitos clássicos não garante um entendimento científico de fato, podendo inclusive levar a uma mistificação dos tópicos de física quântica, como, por exemplo, a dualidade onda-partícula. Se não está claro para o estudante o que caracteriza e diferencia os fenômenos corpusculares e ondulatórios sob o ponto de vista clássico, a tentativa de introduzir um conceito abstrato como o da dualidade provavelmente não produzirá bons resultados.

Visando refletir sobre a inserção da Física Quântica no Ensino Médio, PINTO & ZANETIC^[1], apresentam uma experiência educacional com base no perfil epistemológico de Gaston Bachelard. Em seu trabalho de cunho histórico e filosófico, eles procuraram entender como o estudante processa a construção do novo conhecimento, passando pelo realismo ingênuo, em que o ser humano ainda tem um pensamento primitivo e particular das coisas, pelo empirismo claro e positivista, quando já se tem uma noção de comparação, por exemplo a massa associada à balança, pelo racionalismo clássico da mecânica racional, quando se percebe a descrição matemática da mecânica, pelo racionalismo completo, quando o indivíduo se apropria do entendimento mais completo das coisas, não apenas matematicamente, e pelo racionalismo discursivo, onde se chega à dialetização dos conceitos, uma forma completa e internalizada do raciocínio.

Estes dois últimos aspectos filosóficos do conhecimento físico, racionalismo completo e discursivo, constituem a essência do novo espírito científico e podem ser reunidos compondo o que Bachelard chama de ultra racionalismo. O estudo do ultra racionalismo permite *“captar o pensamento científico contemporâneo e mostrar a novidade essencial que lhe é própria.”* (Bachelard, 1978, pág.158)

Esse trabalho nos mostra o quão é lento o processo de construção e internalização do conhecimento moderno, pois em algum momento, o jovem precisa do visual e palpável, seja por seu cotidiano ou por experiências físicas didáticas, afim de construir seus conhecimentos

anteriores (subsunçores) ao novo conhecimento à ser aprendido, ou seja, a experiência concreta se antecipa à experiência simulada em computadores.

O histórico de vida de cada pessoa pode antecipar esse contato com o realismo, facilitando a compreensão virtual, embora o mundo moderno cada vez mais afasta os jovens das experiências reais no cotidiano, como as brincadeiras de rua, que são substituídas por jogos eletrônicos.

Buscando a análise do desenvolvimento de uma atividade experimental, de caráter investigativo, HERNANDES, CLEMENT e TERRAZZAN^[2] acompanharam o trabalho experimental de uma professora com alunos de 3º ano do ensino médio tratando do efeito fotoelétrico. Nesse trabalho, dividido em três momentos, observações/previsões, em que a professora partiu de situações facilmente vivenciadas pelos alunos como, por exemplo, o funcionamento automático das lâmpadas da iluminação pública, formalização/realização, quando a atividade experimental foi colocada em prática, e a conclusão, com a interpretação dos resultados coletados e a sistematização dos conhecimentos. Para os pesquisadores...

“Podemos apontar, a partir da atividade experimental de investigação, que essa favoreceu uma maior conceitualização, dado que possibilitou aos alunos colocarem em prova as suas ideias, problematizarem acerca do fenômeno abordado, procurarem vias alternativas de solução e confrontarem suas opiniões com as dos colegas (...).” (HERNANDES, CLEMENT e TERRAZZAN, 2002, p.04).

Também no viés de incrementar o ensino de ciências modernas, em sua dissertação de mestrado, BROCKINGTON^[3] (2005) discute sobre a necessidade da atualização do currículo escolar, acompanhando as evoluções das tecnologias nas quais a população está imersa e está utilizando, afim de compreender tais tecnologias. Em suas palavras...

“Há, então, uma grande exposição às inovações diárias, que vão desde o entretenimento aos mais modernos e avançados aparelhos utilizados pela medicina. Em meio a um crescente número de novidades, as pessoas sentem-se cada vez mais atraídas e seduzidas por todas estas “maravilhas” da ciência e da tecnologia.” (BROCKINGTON, 2005, p.09)

Tal descrição, tomada de forma isolada, poderia justificar a inserção da Física Moderna e Contemporânea no currículo do ensino médio, porém, o ensino da Física Clássica se torna indispensável por formar as bases do conhecimento científico. O que não podemos é continuar ensinando Física como se ainda vivêssemos sob a luz de velas e lamparinas, mas sim, ensinar a Física Clássica dando melhor significação aos conceitos e fornecendo suporte experimental.

Por estar diretamente relacionada às tecnologias modernas e pelo fato de documentos oficiais da educação brasileira (Lei de Diretrizes e Bases, Parâmetros Curriculares Nacionais, entre outros) defenderem um ensino mais contextualizado, mais ligado à cultura humana, é inegável a importância de se ensinar Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Isso não significa que a Física Clássica deva ser desprezada e retirada do currículo, mas sim, integralizada à Física Contemporânea de forma a uma complementar a outra, respeitando as limitações e rupturas teóricas, tornando o ensino significativo e mais completo, ou seja, é preciso compreender que séculos de conhecimento acumulado foi o embasamento para a construção do que se conhece até hoje na ciência. Exemplo claro disso é a relação entre relatividade de Einstein e relatividade de Galileu, em que a teoria de Galileu se torna um caso particular da teoria de Einstein. Mas sem Galileu, como explicaríamos as teorias de Einstein?

Foi com essa forma de pensar que chegamos à definição do nosso trabalho de mestrado. Em um primeiro momento, cogitamos aplicar os conceitos da dualidade onda-partícula da luz, fazendo a transposição didática para o ensino médio. No entanto, logo percebemos que estaríamos recaído em uma armadilha de divulgação sem base concreta. Isso nos leva a entender que, antes disso, faz-se necessário um melhor embasamento dos fenômenos ondulatórios, parte da Física Clássica que costuma estar em segundo plano nas escolas. Isso se dá, em geral, porque esses conteúdos costumam ter o tempo reduzido ou mesmo serem eliminados em prol de outras áreas, ou, em certas circunstâncias, por falta de preparo ou conhecimento dos próprios professores. Vale frisar aqui que, mesmo em cursos de bacharelado e licenciatura em Física, a mecânica ondulatória representa uma fatia muito pequena na carga horária total dos estudantes, muito inferior, por exemplo, à mecânica linear.

Partindo dessa primeira reflexão, decidimos focarmos no estudo da mecânica ondulatória, como base para o aluno, posteriormente, ser capaz de compreender alguns princípios básicos da física quântica. Nossa ideia inicial era usar as propriedades da propagação, interferência, difração e reflexão das ondas sonoras no intuito de introduzir os conceitos básicos de mecânica ondulatória. Além disso, pretendíamos, como aplicação multidisciplinar aplicar esses conceitos à bioacústica, com ênfase na vocalização animal e no uso do sonar de algumas espécies.

Assim, já estávamos organizando material necessário para trabalhar com ondas sonoras e espalhamento sonoro, quando, por

mudança de escola e encontrando uma nova realidade, optou-se por criar um material de apoio com atividades experimentais simples a serem realizados no pátio da escola, em sala, ou no laboratório, envolvendo movimentos ondulatórios. Esse material visou melhorar a compreensão sobre conceitos básicos de mecânica ondulatória, preparando para uma futura aplicação em Física Moderna e Eletromagnetismo. Como resultado, observou-se que, para ensinar Física, não se faz necessário grandes equipamentos e materiais complexos, basta que o estudante se interesse por o que está se estudando e consiga integralizar o tema com seu cotidiano ou que relacione a teoria com a prática para que esta se torne mais significativa.

A mecânica ondulatória clássica é um ramo da física que estuda as propagações de perturbações por meios materiais. Diferentemente da mecânica dos corpúsculos ou dos corpos rígidos, onde, por meio da aplicação das três Leis de Newton visamos fundamentalmente determinar as equações de movimento do objeto, na mecânica ondulatória o conhecimento completo do fenômeno está contido nas chamadas funções de onda. As funções de onda são soluções da equação de onda que, por sua vez, é derivada a partir das leis de Newton. Sob o ponto de vista operacional, uma vez determinada a função de onda do fenômeno do sistema, fazemos operações matemáticas sobre essa função, de modo a determinar as grandezas de interesse, tais como densidades de energia cinética e potencial, potência e momento linear.

Evidentemente, na natureza, nem todas as ondas são mecânicas. Temos as ondas eletromagnéticas que são a base da compreensão dos fenômenos luminosos, das ondas de rádio, do raio X, ou seja, do espectro eletromagnético. Independentemente da origem, se mecânicas ou eletromagnéticas, as grandezas físicas importantes são comuns a todas as ondas, e estas obedecem a equações de onda matematicamente idênticas. Vale lembrar que, como informações adicionais para a solução da equação de onda, temos as condições de contorno e a velocidade de propagação, que é uma propriedade do meio onde a onda se propaga. Por fim, salientamos que a mecânica quântica tem sua própria equação de onda, ou seja, a equação de Schrödinger que descreve a dinâmica das partículas ditas duais. A equação de Schrödinger não pode ser derivada a partir das leis de Newton, devendo ser entendida como um dos postulados da mecânica quântica. Vale ainda lembrar, por exemplo, que o princípio de incerteza de Heisenberg está ligado ao fato de os objetos duais obedecerem a uma equação de onda e, por fim, a operacionalidade matemática da mecânica quântica e da mecânica clássica são bastante similares: solução de equação de onda; uso de operadores diferenciais

para retirar informações (observáveis) da função de onda. Ressaltamos aqui que uma diferença crucial está no fato de que a função de onda clássica é um observável físico, representando o deslocamento das partículas do meio em um instante de tempo numa dada posição, enquanto a função de onda quântica não é um observável, sendo apenas uma entidade matemática que contém as informações (observáveis) fisicamente acessíveis do sistema.

Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de formar uma base sólida dos conceitos fundamentais relacionados à ondulatória, usando para isso, o construtivismo de Piaget a partir de atividades experimentais simples.

O método utilizado para o nosso trabalho se baseia em atividades experimentais com efeitos qualitativos e quantitativos observados em ondas formadas na água, em corda, mola e em corrente. Essas atividades simples facilitaram a visualização de conceitos pouco compreensíveis pelos estudantes, tornando as aulas mais dinâmicas e interessantes para os mesmos, o que é de fundamental importância, pois os jovens tem forte tendência em filtrar o que é de interesse ou não.

De forma construtiva, respeitando a evolução da compreensão por parte dos estudantes, realizamos as atividades experimentais de forma gradativa, ou seja, a cada etapa se buscou a compreensão de algum conceito a mais, de forma cumulativa. Para tanto, buscamos respaldo nas teorias de Piaget. No artigo de FOSSILE^[4] encontramos as fases de desenvolvimento da criança, até sua adolescência:

Piaget divide o desenvolvimento cognitivo em quatro estágios:

1. *Sensório-motor*: ocorre entre 0 e 2 anos de idade. Tudo se dá pelas sensações e pelos movimentos da criança, o que coopera para que ela desenvolva seus primeiros esquemas de ação. Aparecem os reflexos básicos dos bebês, que mudam conforme a maturação do sistema nervoso e a interação com o meio. Ainda não estão envolvidos representações mentais e pensamentos.
2. *Pré-operatório*: entre 2 e 7 anos de idade. A criança começa a desenvolver sua capacidade simbólica, não dependendo exclusivamente de suas sensações e movimentos. Passa a distinguir o significante (imagem/palavra/símbolo) do significado (conceito). Exemplo: a criança, ao ver a mãe com uma bolsa, compreende que ela sairá de casa. Ainda não compreende a reversibilidade – compreende que $6 + 1 = 7$, mas não compreende que $7 - 1 = 6$. Tem pensamento animista (dá vida aos seres inanimados), pensamentos egocêntricos (particulares da realidade), raciocínio transdutivo – raciocínio particular (banana verde causa dor de barriga, então abacate verde também causa dor de barriga).

3. *Operatório concreto*: entre 7 e 11 anos de idade. A criança começa a pensar de forma lógica; no entanto, ainda precisa do auxílio da realidade concreta. Consegue desenvolver o pensamento reversível. Sai o pensamento transdutivo e começa o pensamento indutivo – interioriza a ação ou a previsão do resultado que vai do particular para o geral. Abandona o pensamento egocêntrico e passa a pensar o mundo de forma sociável. Dessa forma, percebe que existem regras para todos e tenta compreender o pensamento dos outros, ao mesmo tempo que procura transmitir seu próprio pensamento.
4. *Operatório formal*: dos 11/12 anos em diante. Encontramos nessa fase um adolescente, que utiliza o raciocínio hipotético-dedutivo, elabora e testa suas hipóteses, alcança a abstração, entende que a linguagem é de importância extrema, pois com ela poderá formular hipóteses e realizar pesquisas.

Aceitando, dessa forma, que os estudantes do ensino médio estejam na fase operatório formal, criamos a sequência de experimentos de forma contínua, onde as experiências anteriores ajudam na compreensão da atual, induzindo o mesmo a construir o conhecimento de forma clara e significativa.

Na primeira atividade, objetivou-se trabalhar o entendimento do comprimento de onda, Período/frequência, velocidade/posição, como princípios básicos da ondulatória. Posteriormente, tratamos da interferência construtiva e destrutiva, bem como da formação de ondas estacionárias. Por fim, em uma atividade qualitativa, os estudantes puderam concluir sobre a propagação de energia nas ondas. Ainda estudávamos a possibilidade de criar uma atividade para medir o espalhamento sonoro, simulando a propagação do som através de obstáculos, porém, por falta de equipamentos adequados não obtivemos sucesso, até porque fugiria da ideologia proposta de trabalhar com materiais simples e de fácil obtenção.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 4 capítulos e 2 apêndices. O presente capítulo apresenta uma introdução geral sobre o tema a ser abordado, assim como os objetivos a serem alcançados.

No capítulo 2, será abordada uma introdução teórica sobre ondulatória. Quais as definições que um estudante deve ter para dar continuidade em um estudo mais avançado em Física.

No capítulo 3 mostramos o desenvolvimento da pesquisa, especificando os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do

projeto. Como as atividades foram elaboradas e qual o foco dado a cada uma.

No capítulo 4 relatamos os resultados obtidos com cada atividade, a situação antes e depois do projeto, observando a evolução a cada atividade, bem como o questionário de satisfação, onde foram registradas as observações dos alunos e suas propostas de melhorias.

Nos apêndices estão dispostas as atividades tais como foram aplicadas, acompanhadas de orientações e fotos para os professores que tenham interesse em utilizá-las, na sequência de cada atividade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A FÍSICA ONDULATÓRIA NA ESCOLA

2.1.1 A Física ondulatória, conceitos e medidas

Na nossa vida cotidiana, apesar de nem sempre nos darmos conta, nos deparamos com dois tipos distintos de fenômenos; aqueles que podem ser considerados como comportamentos corpusculares e aqueles que podem ser considerados como ondulatórios. Exemplos de comportamentos corpusculares são o movimento de uma bola de futebol, bem como dos jogadores, os carros passando numa avenida, um pássaro voando e assim por diante. Seria fácil, enunciar uma gama infinita de eventos que poderíamos associar ao movimento corpuscular. Por outro lado, quando se trata de fenômenos ondulatórios, a lista que costumamos fazer não é tão ampla, nem tão imediata. No geral, as pessoas “aprendem” que o som e a luz são fenômenos ondulatórios, mas de imediato, talvez apenas as ondas no mar ou em um lago sejam um exemplo visual cotidiano. Dificilmente um grupo de crianças que está brincando de pular corda irá associar o movimento da corda a um movimento ondulatório.

Mesmo aqueles que em algum momento da vida escolar tiveram contato com física e com estudo de física ondulatória teriam dificuldades em listar, de maneira clara, as diferenças fundamentais entre os fenômenos ondulatórios e corpusculares. É um erro comum, por exemplo, associar-se fenômenos ondulatórios com fenômenos periódicos. Um pêndulo oscilando descreve um movimento periódico, mas é corpuscular. Um único pulso percorrendo uma corda esticada ou as marolas provocadas num lago quando atiramos uma pedra não são movimentos periódicos, mas são ondulatórios.

Em termos simples e diretos podemos classificar os fenômenos como ondulatórios quando apresentam interferência e difração. Isso significa que, para termos segurança quando afirmamos que algo é uma onda, precisamos testar, através de um experimento, se pode ocorrer interferência. Esse ponto é importante, pois, como sabemos, a natureza ondulatória da luz foi demonstrada via experimento. Um contraexemplo seria a natureza corpuscular do efeito dominó. Para muitas pessoas, quando um conjunto alinhado de dominós é colocado de pé, e um deles sofre uma perturbação, o que se segue, ou seja, o movimento sequencial de queda de todos os dominós é uma onda. Isso não se sustenta pelo simples fato de que não é possível gerar superposição dessas ‘ondas’ não

há qualquer tipo de interferência observável, e, em termos formais, esse movimento não obedece à equação de onda.

No que segue, primeiramente, vamos nos dedicar à uma apresentação dos conceitos fundamentais ligados aos fenômenos ondulatórios, suas unidades e interpretações, evidentemente num nível que possa ser acompanhado por um estudante de ensino médio.

As ondas são caracterizadas pelo tipo, mecânicas (que só podem existir em meios materiais e são governadas pelas leis de Newton), ou eletromagnéticas (que não precisam de um meio material para se propagarem), direções transversais (como o pulso em uma corda esticada), ou longitudinais (como a propagação do som), frequência e período, amplitude, comprimento de onda, velocidade de propagação, sendo seu efeito principal a propagação de energia. Como será discutido nos capítulos posteriores, nosso objetivo principal será mostrar aos alunos que:

- ondas, ao contrário de corpúsculos, não são objetos localizados, ou seja, não faz sentido perguntar onde está a onda, mas sim, fazer perguntas a respeito de um ponto específico do meio que está sendo percorrido por uma onda;

- uma onda propaga energia. Pode se definir para uma onda mecânica energia cinética e potencial, mas a energia cinética não está relacionada ao transporte de uma quantidade de massa no sentido de propagação da onda;

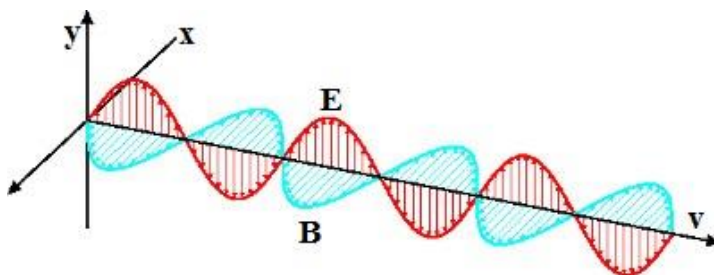
- quando uma onda transfere energia a um objeto, isso se dá de maneira contínua no tempo, ao contrário do que ocorre na colisão de corpúsculos ideais, quando a energia é transferida de maneira quase instantânea;

- a frequência das ondas está relacionada à quantidade de energia que ela transporta.

Com o objetivo de simplificar ao máximo a discussão, vamos considerar, no que segue, que as ondas que serão estudadas são do tipo harmônicas. Ou seja, a fonte que causa a perturbação responsável por gerar a onda realiza movimentos oscilatórios do tipo harmônico, o que produz uma onda periódica cuja frequência será a frequência da fonte harmônica.

Na Figura 1 temos a representação de uma onda eletromagnética, formada pela combinação da oscilação do campo elétrico (\vec{E}) com a oscilação do campo magnético (\vec{B}), perpendiculares entre si.

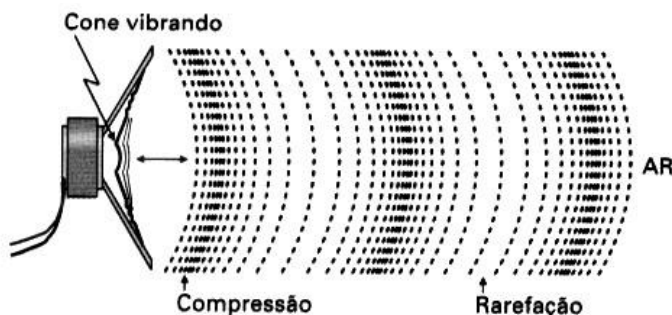
Figura 1: Onda eletromagnética



Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/o-que-sao-ondas-eletromagneticas.htm>

Na Figura 2, o som é um exemplo de ondas mecânicas longitudinais, na qual o ar é empurrado em ondas de pressão que oscilam na direção paralela à velocidade de sua propagação. Embora no convívio não percebemos o som como tal, é um fenômeno ondulatório.

Figura 2: Onda sonora



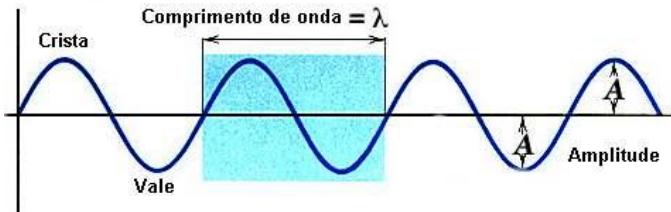
Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/ondas-longitudinais/>

As grandezas ligadas à ondulatória possuem relações diretas entre si. A frequência (f) indica o número de oscilações que acontecem por unidade de tempo, sendo medida em $1/s$, ou Hz (*hertz*), enquanto que o período (T) é o tempo de uma oscilação completa, medida em s (*segundos*) sendo, portanto grandezas inversas, ou seja:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{n}{\Delta t} \quad (1)$$

Em que n é o número de períodos ocorridos durante o intervalo de tempo Δt .

Figura 3: Elementos de onda



Fonte: <http://www.geocities.ws/saladefisica8/ondas/periodicas.html> /

Como mostrado na figura 3, a amplitude (A) indica o valor absoluto do deslocamento máximo sofrido por um elemento a partir da posição de equilíbrio quando a onda passa por esse elemento. Por ser uma grandeza periódica harmônica, a variação da amplitude pode ser medida em relação à sua posição e ao tempo de uma oscilação completa, dado por:

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx + \omega t) \quad (2)$$

Onde y é a distância do eixo de equilíbrio, A é a amplitude máxima da onda, k é uma constante que está relacionada com o comprimento de onda, x é a posição paralela da onda, ω é a frequência angular e t é o tempo. Seja $t=0$, então:

$$y(x, 0) = A \cdot \text{sen}(kx) = A \cdot \text{sen}(kx + k\lambda) = A \cdot \text{sen}(kx + 2\pi)$$

Ou seja:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3)$$

O comprimento de onda (λ) indica a distância entre dois pontos, que se repetem, medidos paralelamente à direção de propagação da onda. Em outras palavras, o comprimento de onda é o “período espacial da onda”.

Quanto aos movimentos ondulatórios, vamos analisar três velocidades a serem médias, a velocidade angular (ω), que corresponde à

medida angular de rotação, a velocidade escalar de rotação (v_r) de um ponto a que está a certa distância r de um eixo de rotação, e a velocidade linear (v) com que um pulso de onda se desloca ao longo do eixo de equilíbrio, como a crista de uma onda na água.

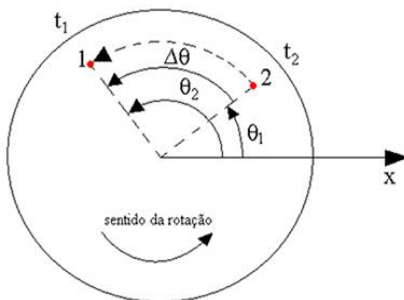
Na velocidade angular, ou frequência angular, seu valor equivale à taxa de variação do argumento da função trigonométrica em termos de radianos por segundo, ou seja, a taxa angular de rotação por unidade de tempo. De acordo com a figura 4, temos:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (4)$$

Uma vez que o ângulo de 2π radianos corresponde a um período T , temos que:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f \quad (5)$$

Figura 4: Variação angular



Fonte: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/velocidade-angular-no-mcu.html>

A velocidade de rotação (v_r) está diretamente relacionada à velocidade angular por:

$$v_r = \omega \cdot r \quad (6)$$

A velocidade angular tem, de forma mais geral, sua notação vetorial ($\vec{v}_r = \vec{\omega} \times \vec{r}$), mas vamos nos ater aqui apenas com notação escalar.

No terceiro caso, como a velocidade média é dada pela distância (Δs) entre dois pontos, dividido pelo tempo (Δt) necessário para ir de um

ponto ao outro, a velocidade linear (v) de uma onda é seu comprimento de onda dividido pelo seu período, ou seja:

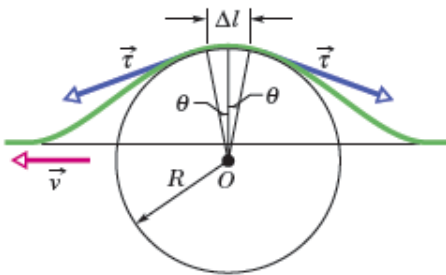
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (7)$$

Então:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{ou} \quad v = \lambda \cdot f \quad (8)$$

Um pulso de onda em uma corda esticada se forma pelo movimento transversal de um elemento de comprimento dessa corda, o que faz com que o elemento vizinho acompanhe esse movimento de forma sucessiva por todo o comprimento dessa corda. Quando esse movimento transversal se repete de um lado para outro, em um Movimento Harmônico Simples (MHS), a corda forma ondas senoidais que se propagam na direção em que a corda está esticada. A velocidade dessa propagação depende da força de tração dessa corda, ou seja, quanto mais esticada a corda estiver, maior será a velocidade de propagação da onda.

Figura 5: Tração na corda



Fonte: (Halliday, vol. 2, 10ª ed., p. 126)

Como podemos ver na figura 5, o pulso de onda se aproxima de um semicírculo, então, sendo a Força \vec{F} aplicada à corda a soma das componentes da tração τ aplicadas na direção em que a corda está esticada, para um ângulo θ suficientemente pequeno, temos:

$$F = 2 \cdot \tau \cdot \text{sen } \theta \cong \tau(2\theta) \quad (9)$$

Da mesma forma, podemos aproximar a velocidade de rotação (v_r) da velocidade linear (v). Mais uma vez, olhando para a figura 5, o ângulo considerado é dado por:

$$2\theta = \frac{\Delta l}{R} \quad (10)$$

Assim, juntando as equações (9) e (10), temos:

$$F = \tau \cdot \frac{\Delta l}{R} \quad (11)$$

Sabendo que a massa Δm do segmento é dada por:

$$\Delta m = \mu \cdot \Delta l \quad (12)$$

Onde μ é a densidade linear da corda em unidades de massa por comprimento. Também sabemos que a aceleração centrípeta do segmento é dada por:

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (13)$$

Pela segunda Lei de Newton, temos:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (14)$$

Então, substituindo as equações (11), (12) e (13) em (14), obtemos:

$$\tau \frac{\Delta l}{R} = (\mu \cdot \Delta l) \cdot \frac{v^2}{R} \quad (15)$$

Ou seja:

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} \quad (16)$$

A equação (16) confirma que a velocidade de um pulso de onda em uma corda será maior, quanto mais esta estiver esticada e menor, quanto maior sua densidade linear, não dependendo de propriedades da onda, como frequência e amplitude.

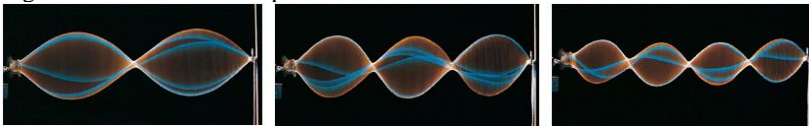
Quando temos uma corda esticada com as duas pontas fixas, as ondas que se propagam em um sentido se cruzam com as ondas refletidas

e, em determinadas frequências de oscilação, formam-se as chamadas ondas estacionárias. As ondas estacionárias formam-se pela interferência construtiva, formando ventres, e pela interferência destrutiva, formando os nós, como mostrado nas figuras 6 e 7. Isso acontece quando os meios comprimentos de onda formam um número inteiro ocupando toda a corda e seu reflexo se sobrepõe a essas ondas. Conhecendo-se o comprimento (L) da corda, o número (n) de ventres formados e a frequência (f_n) de oscilação para se formar tal número de ventres, é possível calcular a velocidade (v) de propagação dessa onda através de:

$$v = \frac{2L}{n} \cdot f_n \quad (17)$$

que decorre da equação (8), pois cada dois ventres referem-se a um comprimento de onda.

Figura 6: Fotos estroboscópicas de ondas estacionárias



Fonte: (Halliday, vol. 2, 10ª ed., p. 152)

Para uma análise mais detalhada, vamos considerar a superposição de duas ondas iguais, y_1 e y_2 , mas com velocidades opostas:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (18)$$

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx + \omega t) + A \cdot \text{sen}(kx - \omega t) \quad (19)$$

onde, usando as relações trigonométricas de adição de funções seno, obtemos:

$$y(x, t) = [2 \cdot A \cdot \text{sen}(kx)] \cdot \cos(\omega t) \quad (20)$$

A equação (20) representa uma onda que não se propaga. Em cada ponto x há uma vibração determinada pela frequência angular (5). Os pontos em que $\text{sen}(kx)$ se anulam são chamados de nós. Estes pontos são obtidos quando $kx = n\pi$, onde $n = 0, 1, 2, \dots$. Logo, obtemos que eles acontecem para:

$$x = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (21)$$

Enquanto que os ventres, ou anti-nós, acontecem nas regiões intermediárias aos nós (nos máximos dos $\text{sen}(kx)$), ou seja:

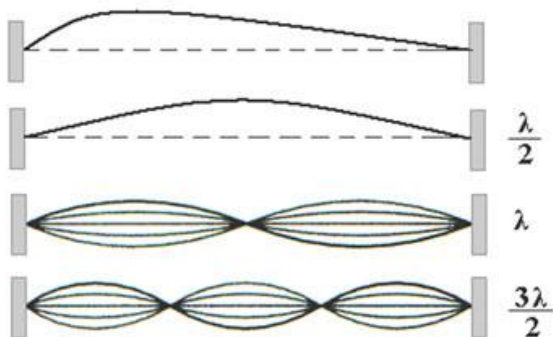
$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (22)$$

Para cordas presas em dois pontos fixos, como as cordas de um violão, podemos induzir ondas estacionárias onde os pontos fixos são necessariamente nós. Logo, temos que, que se a corda possui comprimento l , então os comprimentos de ondas possíveis são obtidos da relação (21), substituindo x por l :

$$\lambda = \frac{2l}{n} \quad (23)$$

Onde $n = 1, 2, 3, \dots$ (note que o valor $n = 0$ não é físico nesse caso - seria uma onda com comprimento de onda infinito, ou seja, onda nenhuma). Estes são conhecidos como os comprimentos de ondas dos harmônicos da corda.

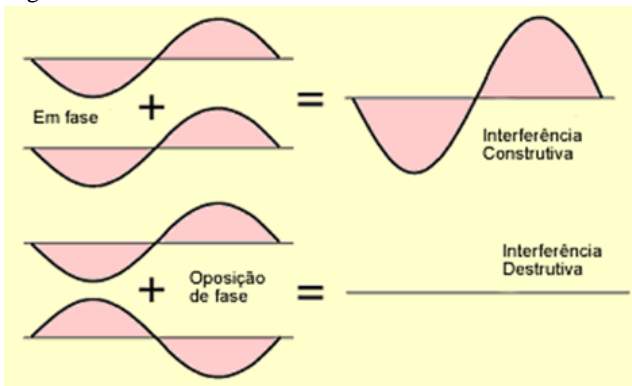
Figura 7: Ondas estacionárias



Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/ondas-estacionarias.htm>

Na figura 8 temos as combinações de interferência construtiva, quando os pulsos de onda estão em fase, e destrutiva, quando os pulsos de onda estão defasados em meio comprimento de onda. Dessa forma são formadas as ondas estacionárias.

Figura 8: Interferência de ondas



Fonte: <https://taniapinto23.wordpress.com/>

Finalmente, chegamos ao conceito de energia, a qual é fundamental para várias análises e sua aplicação é praticamente universal quando se trata de mecânica clássica, incluindo a ondulatória.

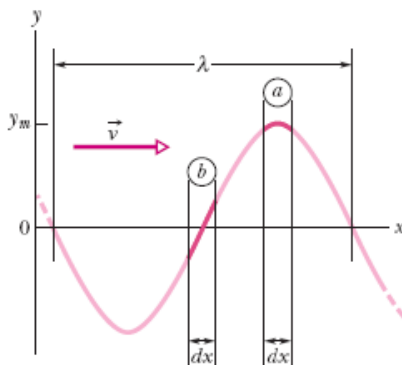
Quando produzimos uma onda em uma corda esticada, fornecemos energia para que a corda se mova. Essa energia é constituída por sua energia cinética (K) e sua energia potencial elástica (U).

A energia cinética está ligada ao movimento, e sua definição está ligada à velocidade de um corpo. Assim, se tomarmos um corpo de massa m se movendo a uma velocidade v , sua energia cinética é dada por:

$$K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (24)$$

Um elemento da corda, de massa dm , que oscila transversalmente em um Movimento Harmônico Simples (MHS) produzido por uma onda, possui energia cinética associada à velocidade transversal do elemento. Quando o elemento está passando pela posição $y = 0$ (como o elemento b da Figura 9), a velocidade transversal (e, portanto, a energia cinética) é máxima. Quando o elemento está na posição extrema $y = y_m$ (como o elemento a), a velocidade transversal (e, portanto, a energia cinética) é nula.

Figura 9: Energia da onda na corda



Fonte: (Halliday, vol. 2, 10ª ed., p. 128)

Quando um trecho inicialmente reto de uma corda é excitado por uma onda senoidal, os elementos da corda sofrem deformações. Ao oscilar transversalmente, um elemento da corda de comprimento dx aumenta e diminui periodicamente de comprimento para assumir a forma da onda senoidal. A energia potencial elástica está associada a essas variações de comprimento e à capacidade de um sistema produzir trabalho. Quando essa forma de energia se manifesta, isso ocorre por meio de uma força, e formalmente temos a definição:

$$U = - \int_{x_0}^{x_1} F. dx \quad (25)$$

Em que U é a energia potencial que se manifesta através da força F , quando esta atua entre as posições x_0 e x_1 . Esta é uma definição muito generalizada, pois cada sistema tem uma força bem particular. Cada sistema terá uma formulação diferente para sua energia potencial, que dependerá de suas particularidades construtivas e dos detalhes de cada componente. Em um sistema elástico, a força exercida é proporcional à compressão (ou expansão) sofrida, ou seja:

$$F = -k. x \quad (26)$$

Em que x é a variação do comprimento do corpo elástico, considerando-se sua situação de repouso, e k é uma constante de proporcionalidade que depende do meio elástico. O sinal negativo indica que a força será

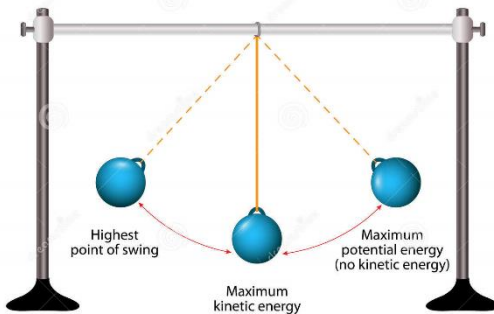
exercida no sentido contrário da deformação sofrida. Assim, a energia potencial de um sistema elástico vale:

$$U = \int_0^x k \cdot x \cdot dx = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \quad (27)$$

Quando o elemento da corda está na posição $y = y_m$ (como no elemento a da Figura 9), o comprimento é o valor de repouso dx e, portanto, a energia potencial elástica é nula. Por outro lado, quando o elemento está passando pela posição $y = 0$, o alongamento é máximo e, portanto, a energia potencial elástica também é máxima.

Os elementos da corda possuem, portanto, energia cinética máxima e energia potencial elástica máxima em $y = 0$. As regiões da corda com deslocamento máximo não possuem energia, e as regiões com deslocamento nulo possuem energia máxima. Quando a onda se propaga ao longo da corda, as forças associadas à tração da corda realizam trabalho continuamente para transferir energia das regiões com energia para as regiões sem energia. Sendo assim, quanto mais pulsos de onda seguidos, maior a frequência de oscilação e mais energia é transmitida.

Figura 10: Pêndulo simples

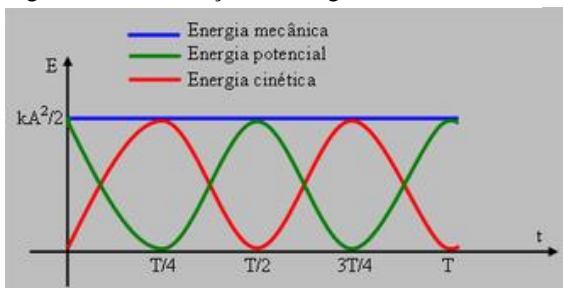


Fonte: <https://pt.dreamstime.com/ilustração-stock-conservação-de-energia-pêndulos-simples-image67599816>

Convém lembrar que essa situação se aplica às ondas se propagando em uma corda, uma mola, uma corrente, ou mesmo um fio esticado, pois para um sistema oscilante, como um pêndulo simples, uma massa pendurada em uma mola, entre outros, vale o princípio da conservação da energia mecânica ($E = K + U$). Tomando como exemplo o pêndulo simples da figura 10, sua energia cinética é máxima no ponto

mais baixo do movimento, quando a energia potencial é nula, invertendo a situação nos extremos da oscilação. A alternância entre os máximos da energia cinética e da energia potencial para casos como o descrito está representado na figura 11.

Figura 11: Conservação da energia mecânica



Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=27172>

Por fim, podemos analisar o comportamento de um pulso de onda se propagando de baixo para cima em uma fina corrente pendurada. Da equação (16) sabemos que a velocidade do pulso de onda se propagando em uma corda aumenta com a raiz quadrada da tração dessa corda. Considerando a corrente pendurada, sua tração aumenta linearmente de baixo para cima a medida que a altura aumenta, pois existe mais massa da própria corrente abaixo tracionando esse elemento com a força gravitacional. Então, considerando que a tração da corrente é dada pelo seu próprio peso:

$$\tau = P = m \cdot g \quad (28)$$

A equação (16) se torna:

$$v = \sqrt{\frac{\mu \cdot y \cdot g}{\mu}} \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{y \cdot g} \quad (29)$$

Onde y é a altura da corrente, medida de baixo para cima. Também se faz necessário incluir aqui a velocidade inicial do pulso induzido de baixo para cima. Isso significa que o quadrado da velocidade do pulso de onda aumenta durante a subida, dependendo apenas da aceleração da gravidade local, independente das características da corrente ou da corda que está pendurada. Esse é um sistema muito instrutivo pois a aceleração do pulso com a altura é contrária a intuição, e pode gerar uma boa discussão a

respeito do caráter dos fenômenos ondulatórios. O efeito da gravidade local é tensionar a corda, mas como o pulso não transporta matéria, não há ganho de energia potencial gravitacional no pulso e ele sobe acelerado. Além disso, esse efeito independe do meio (corda) representado pela densidade.

Em nossa experiência, esse fenômeno ficou melhor visível em uma corrente muito fina e maleável, sendo que na corda, por sua menor maleabilidade, o pulso de onda se torna amortecido.

2.1.2 A transposição didática

As atividades experimentais propostas nesse trabalho objetivam que os estudantes cheguem às conclusões esperadas de forma natural, com o mínimo possível de abstração matemática, de forma que consigam perceber o significado físico do transporte de energia e, posteriormente, que essa energia pode ser medida.

Esses são conceitos clássicos, mas são o ponto de partida para se chegar à compreensão de conceitos modernos, como por exemplo, o modelo ondulatório do átomo, proposto por Louis De Broglie.

No pouco tempo que o professor continuou trabalhando na escola em questão, depois da aplicação do projeto, ainda foi possível tratar do efeito fotoelétrico. Foi notável a percepção por parte do professor sobre a melhor facilidade de compreensão dos estudantes sobre o assunto, pois estes se tornaram mais comunicativos, passaram a formular hipóteses mais consistentes, buscando evidências comparativas às atividades do projeto.

Para um estudante universitário da área de exatas, essa base sobre ondulatória parece ser relevante (em parte), porém para um estudante do ensino médio isso pode ser visto apenas como um “monte de letras e números sem sentido algum”. Dessa forma, o modo como apresentar esses conceitos para um estudante de ensino médio deve ser tratado de forma consciente. O mesmo acontece com as operações básicas da matemática na qual uma criança que não aprende corretamente, tem problemas para o resto da vida estudantil.

Essa preocupação vai ao encontro com a linha de pensamento da aprendizagem significativa de David Ausubel, descrito por MOREIRA^[5], em que o estudante precisa construir seu conhecimento dando significado a conceitos antes aprendidos, o que Ausubel chama de subsunçores. Nesse caso, os subsunçores dos conceitos iniciais de ondulatória estão sendo criados, mas estes precisam ser formados a partir de subsunçores anteriores, que normalmente se caracterizam por lembranças visuais de

movimentos periódicos. O que fazemos aqui é acionar esses subsunçores visuais através de atividades experimentais simples, proporcionando nova identidade a esses pré-conhecimentos.

Também foi possível analisar as concepções alternativas dos estudantes sobre os efeitos ondulatórios, o que pode ser comparado com o estudo descrito por GOBARA *et al*^[6]. Cada estudante tem seus conceitos prévios dos fenômenos ondulatórios, normalmente relacionados com efeitos visuais que presenciaram desde a infância, como as ondas do mar, as marolas na água de um lago, uma corda esticada sendo agitada, etc. Esses mesmos efeitos visuais são utilizados nas atividades experimentais aqui apresentadas, porém de forma mais científica, onde estes observam, discutem e interpretam os efeitos sob o ponto de vista da Física. Por isso, a proposta foi de deixar os estudantes realizarem as atividades experimentais e discutirem com pouca interferência do professor para, então, este reconstruir os conceitos da ondulatória, desmistificando as concepções alternativas. Uma dessas concepções alternativas que ficou muito evidente se relaciona ao transporte de matéria pela onda, o que mesmo na última atividade experimental, ainda havia estudantes com essa ideia enraizada. Isso mostra que desmanchar um conceito errôneo não é tão simples assim, o que demanda persistência e paciência, tomando-se o cuidado para não desmotivar o estudante, o que pode fazer com que este acredite não ter capacidade de aprender.

2.1.3 Atividades experimentais na escola

São diversos os artigos que podem ser encontrados tratando sobre atividades experimentais de Física em escolas de ensino médio. Alguns tratam das contribuições de tais atividades, outros do fracasso pela má preparação docente, e tem aqueles que discutem as finalidades dependendo do enfoque dado pela atividade.

Uma análise geral dos artigos publicados sobre o assunto na Revista Brasileira de Ensino de Física (SBF), em seu encarte Física na Escola e no Caderno Catarinense de Ensino de Física (UFSC), entre 1992 e 2001 é feita por ARAÚJO e ABIB^[7]. Nessa publicação 106 artigos são comparados por temas, por aspectos metodológicos, como a ênfase matemática empregada, o grau de direcionamento das atividades, o uso de novas tecnologias e a relação com o cotidiano, concluindo que a atividade experimental apresenta uma ampla gama de enfoques e finalidades para o ensino de Física.

O que inicialmente chamou a atenção nesse trabalho foi a distribuição dos temas abordados. Existe uma grande tendência pelos

temas relacionados à Mecânica (28), Óptica (21) e Eletricidade e Magnetismo (19). Apenas 7 trabalhos foram escritos sobre Física Moderna nesse período, o que atualmente teve certo crescimento. Em ondulatória apenas 3 trabalhos estão listados, o que comprova que pouco se dá atenção a essa área no ensino médio.

OLIVEIRA^[8] faz um estudo sobre “contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências”. A autora elenca e descreve 11 contribuições sendo, a) para motivar e despertar a atenção dos alunos, b) para desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo, c) para desenvolver a iniciativa pessoal e a tomada de decisão, d) para estimular a criatividade, e) para aprimorar a capacidade de observação e registro de informações, f) para aprender a analisar dados e propor hipóteses para os fenômenos, g) para aprender conceitos científicos, h) para detectar e corrigir erros conceituais dos alunos, i) para compreender a natureza da ciência e o papel do cientista em uma investigação, j) para compreender as relações entre ciência, tecnologia e sociedade, k) para aprimorar habilidades manipulativas. Nem todas essas contribuições são consideradas primordiais, mas o conjunto em si justifica a importância das atividades experimentais no ensino médio, não com função de formar físicos, mas de torná-los descobridores da ciência.

Para as atividades experimentais, estas ainda são classificadas em três categorias:

1) Atividades de demonstração/observação: Esse tipo de atividade normalmente se concentra no professor para a demonstração de um fenômeno físico. Podem ser demonstrações fechadas, que “se caracterizam principalmente pela simples ilustração de um determinado fenômeno físico, sendo uma atividade centrada no professor que a realiza”, tornando os alunos meros espectadores, ou podem ser demonstrações abertas, onde “incorporam outros elementos, apresentando uma maior abertura e flexibilidade para discussões que podem permitir um aprofundamento nos aspectos conceituais e práticos relacionados com os equipamentos, a possibilidade de se levantar hipóteses e o incentivo à reflexão crítica, de modo que a demonstração consistiria em um ponto de partida para a discussão sobre os fenômenos abordados, com possibilidade de exploração mais profunda do tema estudado” (ARAÚJO e ABIB^[7] (2003)).

2) Atividades de verificação: “As atividades de verificação são caracterizadas por uma maneira de se conduzir a atividade experimental na qual se busca a verificação da validade de alguma lei física, ou mesmo de seus limites de validade” (ARAÚJO e ABIB^[7] (2003)).

3) Atividades de investigação: Nesse tipo de atividade, os estudantes têm mais liberdade, uma vez que o roteiro não é totalmente fechado, podendo haver modificações de acordo com o interesse ou necessidade. Porém, esse tipo de trabalho não é tão simples assim, “(...) as deficiências formativas observadas nos alunos poderiam implicar na necessidade de uso da experimentação baseada em um modelo estruturado nas etapas iniciais, enquanto em uma etapa posterior, quando os alunos já estariam familiarizados com o laboratório, poderiam ser utilizadas abordagens não estruturadas” (ARAÚJO e ABIB^[7] (2003)). Ou seja, é necessário que os estudantes tenham alguma familiarização com o laboratório para ir modificando a forma de trabalhar, até chegar a um ponto no qual estes tenham capacidade de entendimento e elaboração diante da investigação a ser feita. Para se chegar a esse ponto é necessário maior domínio por parte do professor, visto que podem surgir diferentes situações inesperadas.

No trabalho que desenvolvemos, utilizamos uma mistura entre atividades de verificação e atividades de investigação, uma vez que o professor tendo assumido as aulas na escola aonde foi desenvolvido o projeto no início do mesmo ano, não teve o tempo de adaptação com os alunos da forma necessária para explorar as atividades de investigação como pretendido.

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

3.1 CONCEPÇÃO INICIAL DO PROJETO

Ao decidirmos pelo tema a ser trabalhado, nosso primeiro passo foi fazer uma investigação em todos os livros de Física do Ensino Médio recebidos para a escolha nas escolas através do PNLND 2015 – Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio de 2015. Nessa ocasião, verificamos que a Física ondulatória tem pouca ênfase, sendo tratado de forma superficial em quase todos os livros disponíveis. Por exemplo, pouco se faz relação entre ondas e transporte de energia, além de que nem sempre existe uma conexão com outras áreas como a óptica e o eletromagnetismo, tornando-se aparentemente uma área isolada da Física.

O quadro abaixo apresenta os livros analisados, com o volume em que encontramos alguma referência ao tema ondulatória:

Título	Autor principal	Editora	Vol.
Compreendendo a Física	Alberto Gaspar	Ática	2
Física	Alysson R. Artuso	Positivo	2
Física conceitos e contextos: Pessoal, social, histórico	Maurício Pietrocola	FTD	2 e 3
Física	José R. C. Piqueira	Ática	2
Física aula por aula	Claudio Xavier	FTD	3
Física contexto e aplicações	Antônio Máximo	Scipione	2 e 3
Física	Bonjorno	FTD	2 e 3
Física interação e tecnologia	Aurélio G. Filho	Leya	2
Física para o ensino médio	Luiz F. Fuke	Saraiva	2
Física	Ricardo H. Doca	Saraiva	2
Ser protagonista Física	Angelo Stefanovits	SM	2
Conexões com a Física	Gloria Martini	Moderna	2
Física ciência e tecnologia	Carlos M. A. Torres	Moderna	2

Nosso objetivo é elevar o grau de importância que se dá aos fenômenos ondulatórios e mostrar que outros fenômenos importantes serão mais bem compreendidos quando o estudante possui maior

conhecimento dessa área. Afinal, a mecânica quântica, por exemplo, está alicerçada na ondulatória.

O estudo desenvolvido nessa Dissertação é do tipo qualitativo, pois enfatiza as impressões dos alunos a respeito das melhorias proporcionadas pelo tema “Ondulatória” no seu aprendizado. Analisamos as respostas aos questionários, os quais trouxeram resultados subjetivos, retratando respostas pessoais de cada grupo, pois não fizemos perguntas com respostas do tipo múltipla escolha. Esse formato resultou em muito mais trabalho, pois cada aluno expressou sua compreensão e, a partir disso, buscamos padrões de respostas semelhantes. Além disso, este estudo é de natureza aplicada, uma vez que o curso foi de fato ministrado a alunos do ensino médio da escola de Ensino Básico Prof. Carlos Zipperer Sobrinho, local de trabalho do professor, tentando seguir o ritmo normal das aulas.

Ao iniciar seu trabalho letivo nessa escola, vindo por transferência de outra escola, o professor se deparou com uma nova realidade, demandando certo tempo para a adaptação, tanto do professor, quanto dos estudantes. Dessa forma, optamos por simplificar o trabalho a fim de reforçar a aprendizagem de conceitos básicos, de forma lúdica e atraente, ou seja, o trabalho que já estava planejado para ser desenvolvido com atividades experimentais mais elaboradas teve de ser remodelado com atividades mais simples e visuais.

Após desenvolver e aplicar a primeira atividade sobre movimento ondulatório na água, observando a reação dos educandos, tomamos o rumo para desenvolver as demais atividades utilizando corda e corrente.

As atividades foram desenvolvidas com cerca de 90 estudantes em quatro turmas, sendo duas do período matutino, uma noturna e uma de período integral, se tratando de uma turma de ensino inovador. Cada turma obteve um rendimento diferente da outra, o que demonstra que um projeto como esse possivelmente obterá resultados diferentes no caso de ser aplicado em outras escolas.

3.2 CONDUÇÃO DAS ATIVIDADES

3.1.1 Preparação dos Materiais Didáticos

Antes de iniciar as atividades experimentais, foram aplicadas uma ou duas aulas teóricas em cada turma, aproveitando o material disponível no livro didático disponível. Essas aulas objetivaram disponibilizar conceitos básicos, como período, frequência, comprimento de onda,

amplitude e interferência, ampliando o vocabulário necessário para a melhor compreensão do projeto.

As atividades do projeto foram desenvolvidas com três experimentos simples de serem construídos e aplicados, envolvendo a mecânica ondulatória. Para cada atividade utilizou-se uma aula de 45 minutos para observação e coleta de dados e outra aula para interpretação e avaliação dos dados coletados.

Após cada atividade concluída, foi necessária uma aula extra para dar *feedback* às respostas obtidas, corrigindo ideias errôneas formuladas pelos estudantes. Esse momento também foi importante para o professor perceber possíveis falhas no projeto e adequar a próxima atividade antes de sua aplicação.

A primeira atividade experimental consistiu de um tubo de pvc cortado longitudinalmente preparado para observar a formação das ondas na água, medir sua velocidade de propagação e testar o não transporte de matéria.

A segunda atividade foi desenvolvida com uma corda comprida para testarem e tentarem medir os efeitos das ondas estacionárias. Posteriormente, foi possível observar esse fenômeno com uma mola helicoidal, da qual o professor emprestou da escola de onde trabalhava anteriormente. O objetivo de utilizar a corda se deve ao fato de se fazer a atividade com recursos disponíveis para qualquer escola.

Para a terceira atividade, foi utilizada uma fina corrente, retirada de uma veneziana de janela, a qual estava estragada. Essa corrente foi pendurada no teto do saguão da escola e os alunos puderam testar o efeito de propagação de energia pela onda que eles mesmos formavam. Ainda fizemos a comparação com a corda pendurada, mas o efeito não ficou muito visível pela pouca maleabilidade da corda.

A intenção foi trabalhar com materiais simples e de fácil acesso, mostrando que para ensinar Física de forma lúdica e divertida não se faz necessário grandes equipamentos caros ou de alta tecnologia.

3.1.2 Exames Diagnósticos

Com o intuito de não interferir nos resultados avaliativos, causando falsos resultados, os alunos tinham ciência do trabalho se tratar de uma pesquisa, mas foi tratado de forma natural no andamento normal das aulas. Como o professor havia iniciado seus trabalhos na escola pouco tempo antes do projeto, é difícil mensurar mudanças de forma estatística, comparando notas antes e depois das atividades. No entanto, o professor

percebeu mudanças subjetivas, como qualidade dos questionamentos e facilidade de compreensão de novos assuntos.

Para cada atividade experimental, os alunos receberam um questionário a ser respondido em pequenos grupos. Desses questionários, juntamos padrões de respostas para quantizar a pesquisa, visto que as respostas eram do tipo subjetivas, onde cada grupo descrevia suas observações. Para cada atividade, foi possível perceber o avanço na qualidade das respostas. Ao final, também foi aplicado um questionário de satisfação com sugestões de melhorias para o projeto.

3.1.3 Estrutura da Escola

A Escola de Ensino Básico Prefeito Carlos Zipperer Sobrinho, situada em um bairro de classe média baixa, no município de São Bento do Sul – SC, atende pouco mais de quinhentos alunos a partir do sexto ano do ensino fundamental até o terceiro ano do ensino médio. Pouco mais de trezentos alunos fazem parte do ensino médio, dos quais cerca de noventa alunos do segundo ano participaram do projeto de pesquisa.

Além de onze salas de aula, a escola possui uma sala de convivência para o ensino inovador, uma biblioteca, uma sala para vídeo, uma sala de computadores, porém pouco funcional e uma pequena sala de laboratório para ciências em geral.

A sala de laboratório, apesar de pequena, possui duas bancadas em granito com pias, um carrinho de “auto labor” e algum material de práticas experimentais de Química e de Biologia, com poucos materiais para Física.

Os alunos são oriundos de escolas municipais de ensino fundamental situadas na redondeza e na maioria, com grande dificuldade educacional.

Em geral, os pais são funcionários de empresas moveleiras ou de metalurgia, funcionários ligados ao comércio ou mesmo funcionários públicos. Alguns alunos são de áreas rurais próximas, pois o bairro fica em uma área de transição entre urbana e rural.

A menos de quinhentos metros da escola existe um conjunto do qual os alunos mostram ter pouco conhecimento da existência, formado pela UDESC, SENAI, UNISOCIESC e agora pelo IFC. Atualmente, através de projetos de extensão desses órgãos, está ocorrendo um leve estreitamento de laços com a escola, de forma que os estudantes estão começando a conhecer melhor essas instituições.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, apresentamos os principais resultados de nossas atividades. Analisamos a participação dos alunos, e tentamos identificar melhoras na compreensão sobre o tópico de ondulatória, analisando as respostas dos alunos participantes nos questionários das atividades experimentais. Também analisamos as respostas do questionário de satisfação aplicado após o final das atividades, em busca de elementos no discurso dos alunos que indiquem que a atividade é válida, e/ou se houve alguma mudança de atitude em relação ao estudo da Física, bem como as propostas destes para melhorias no projeto.

4.1 PARTICIPAÇÃO DOS ALUNOS

Cerca de 90 alunos participaram do projeto “ondulatória” de forma voluntária, porém acompanhando o ritmo normal das aulas, ou seja, não foi dado grande ênfase sobre se tratar de um projeto, afim de não mascarar resultados. De qualquer forma, todos sabiam se tratar de parte de um projeto de mestrado. Sendo assim, não foi criado o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Contudo, estes não esconderam o orgulho de estar participando de algo que julgaram como muito importante.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por se tratarem de questionários subjetivos, optamos por transcrever as respostas de cada grupo formado por três ou quatro alunos, posteriormente fazendo a análise geral das respostas. Buscamos transcrever as respostas de forma literal, apenas corrigindo erros gramaticais e, ainda assim, mantendo alguns erros para não modificar a estrutura do pensamento. De qualquer forma, a análise de respostas subjetivas é muito complexa, dificultando a mensuração objetiva dos resultados.

Identificaremos as respostas por uma letra correspondente ao experimento e um número correspondente aos grupos dentro da atividade (A1, A2, ..., B1, B2, ..., C1, C2, C3, ...), sendo que em cada atividade eles poderiam reestruturar os grupos.

4.2.1 Respostas da Atividade experimental A – Velocidade das ondas na água

Para iniciar, foi proposto que os alunos formassem ondas na água contida em um tubo de pvc com 100 mm de diâmetro e cerca de três metros de comprimento, cortado longitudinalmente, formando uma canaleta. Juntamente com as orientações contidas em uma folha haviam 4 perguntas a serem respondidas.

Figura 12: Atividade A



Fonte: O autor

4.2.1.1 Houve variação na velocidade de propagação da onda ao longo do percurso?

A1, 3 – Sim, quando ela reflete e volta a velocidade da onda diminui. Obs: Mediram o tempo de ida e volta da onda várias vezes.

A2 – Não, pois uma onda que se propaga em um meio homogêneo tem sempre a mesma velocidade, a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda.

A4 – Sim, pois ao cronometrarmos o tempo total em que a onda se iniciava até a reflexão chegando ao ponto de início novamente, observamos que o tempo total médio foi de 9,31 s. Desde o ponto de partida uma onda levou 4,80 s para ir ao ponto final e esta onda retornava com o tempo de 7,47 s. Desta forma concluímos que a onda perde a velocidade, pois leva mais tempo para retornar ao ponto inicial.

A5 – Sim, pois no tempo que ela bate lá atrás, perde velocidade.

A6 – Sim, porque a cada 50 cm diminui a onda.

A7, 9 – Houve variação, pois, a onda, uma hora foi mais rápida, outra hora foi mais devagar. (A 9 marcaram os tempos de ida e volta).

A8, 10, 11, 18, 20, 21 – Sim, ela diminui a velocidade.

A12, 14, 19 – Sim, houve variação no tempo.

A13 – Sim, porque cada vez que mudamos deu um tempo diferente.

A15 – Sim, mais para o final do percurso ela fica devagar.

A16 – Sim, pois ao longo do percurso a onda perde força.

A17 – Sim, houve diminuição da velocidade. Ida: 5 (?); volta: 3,45 (?).

A22 – Sim, pois no início ela começa com velocidade e no final ela diminui.

Embora, teoricamente a velocidade da onda deveria se manter constante, apenas um grupo (A2) fez essa observação e, mesmo assim, pela forma como descreveram, aparentemente pesquisaram antes de responder. Na prática, realmente a onda deve diminuir sua velocidade durante o percurso devido ao atrito com as paredes do tubo. Ao serem questionados, muitos alunos atribuíram essa redução da velocidade ao atrito com o tubo e pela pouca profundidade do nível da água.

Nota-se nas respostas dessa primeira pergunta o uso das concepções alternativas como atribuir a velocidade a uma força, porém também já surgiu o uso de alguns subsunçores (Ausubel -1968), como observar o tempo de ida e volta da onda para relacionar com a variação de velocidade.

Também é perceptível a formulação de respostas inconclusivas, ou desconexas, o que confirma a falta de conhecimentos básicos, tanto em Física, como em Matemática e Língua Portuguesa.

4.2.1.2 Houve dissipação de energia ao longo do percurso no cano? Explique:

A1 – Sim, dá pra ver que depois que a onda volta ao ponto de partida a água continua se mexendo.

A2 – quando ela bateu no final do cano, perdeu o comprimento de onda, mas continuou com a mesma velocidade e frequência.

A3 – Sim, quando volta, a onda vai perdendo a intensidade.

A4 – Como já visto na questão anterior, a reflexão da onda retornava com 4,80 s, tendo diferença de 0,33 s do percurso de ida. Concluímos assim, que se o tempo de reflexão da onda foi maior que a de ida, isso mostra que a velocidade da onda foi diminuindo, ou seja, houve dissipação de energia.

A5, 12 – Sim, pois a velocidade da onda diminui.

A6 – Conforme o percurso diminui a velocidade.

A7 – Houve, pois uma obteve mais energia que a outra.

A8, 11 – Sim, pois ao longo do percurso a onda perde energia e em resultado disso diminui o tamanho.

A9 – Sim, houve perda de energia em certas ondas, pois ela levou mais tempo que outras para chegar ao final do cano.

A10 – A onda perdeu energia quando se encontrou com o primeiro objeto, por isso não consegue mover os outros. (?) (provavelmente, misturaram com a questão 4).

A13 – Sim, a onda vai sumindo ao longo do percurso no cano.

A14 – Sim, pois ela sobe (pausa) e desce.

A15 – Sim, a energia posta ao empurrar a água se perde no decorrer do percurso.

A16 – Sim, pois conforme a batida, a onda ao longo do percurso foi diminuindo.

A17 – Não, pois o cano segue uma linha totalmente reta.

A18 – Sim, pelo fato de que ao longo do tempo a quantidade de água que está sendo deslocada diminui.

A19 – Sim, houve dissipação de energia, porque ela dispara forte e ao longo do percurso ela perdeu a sua força e se desmancha.

A20 – Sim, pois a energia ajuda na propagação da onda.

A21 – Sim, pois a onda foi até o fim e voltou ao ponto de início.

A22 – Não, porque ela sai em uma velocidade, bate e volta na mesma velocidade. No final da volta ela se expande.

Nessa segunda pergunta houve uma maior diversidade de respostas. Como não havia sido introduzido o conceito de energia

anteriormente, nota-se que as respostas foram dadas na maioria por intuição e por concepções alternativas.

Apenas três grupos (A2, A17 e A22) acreditaram não haver dissipação de energia no percurso da onda. A maior parte dos grupos relacionou a dissipação da energia com a diminuição da velocidade da onda ou à diminuição de sua amplitude, muito embora ainda tenha sido de forma intuitiva.

4.2.1.3 Descreva o que você observou durante e depois dos encontros entre as ondas formadas e refletidas.

A1, 21 – Elas continuam o caminho, mas diminui a velocidade.

A2, 4 – Quando as ondas se encontram perdem energia, pois uma onda é construtiva e a outra destrutiva.

A3 – Uma não interfere na outra, mas a segunda onda volta com intensidade menor.

A5 – Que a primeira onda foi e mesmo com o encontro voltou com pouca velocidade e a segunda, depois do encontro perdeu velocidade, mas consegue ir e voltar.

A6 – Que quando elas se encontram, elas somem depois aparecem.

A7 – Quando uma onda vai e encontra a outra, elas perdem um pouco de sua força.

A8 – Durante, o tamanho delas não diminuíram, apenas passaram uma pela outra.

A9 – Quando a onda vai e encontra outra que está voltando ela perde força por conta do impacto.

A10 – Que em cada onda os copos vinham pra frente e depois voltava para trás. (?) (Provavelmente misturaram com a questão 4).

A11 – Quando uma encontra a outra, elas perdem um pouco de energia.

A12 – Quando houve interferência, as ondas perderam energia e pararam.

A13 – Quando as ondas se encontram, elas se desmancham com o impulso.

A14, 20 – No começo elas foram rápidas e depois, quando elas se encontraram, ficaram lentas.

A15 – Durante o encontro elas ficam nulas, mas depois cada uma continua o seu percurso normalmente.

A16 – Durante a ida ela formou uma onda e na volta, propagou ondas menores ao encontro. (?)

A17 – Que houve a diminuição da velocidade.

A18 – Elas se anulam e em seguida se formam novamente.

A19 – As ondas se criam fortes e se encontram no meio do percurso.

A22 – Quando se encontram, elas se chocam e a onda que está com menos velocidade se dissipa.

Para responder a terceira questão, os grupos precisavam formar uma onda, esperar que refletisse na outra ponta e formar uma nova onda para cruzar com a primeira, ou produzir duas ondas simultaneamente, uma em cada ponta do cano e observar o momento em que estas se cruzam.

Observamos que houve pouca compreensão sobre interferência entre ondas, sendo que esse fenômeno é muito difícil de ser observado, necessitando melhor explicação do professor durante a revisão da atividade. De qualquer forma, a explicação sobre haver uma interferência construtiva, teoricamente sem perda de energia, foi mais tranquila após já terem esse primeiro contato com a realidade.

Figura 13: Objetos flutuantes



Fonte: O autor

4.2.1.4 Os objetos flutuantes são levados pelas ondas?

A1 – Depende da força da onda, eles se locomovem um pouco, mas vão na direção que a onda está.

A2 – Sim, como as ondas do mar levam o lixo para a areia.

A3, 5 – Sim, porque a água é mais densa que os objetos.

A4 – Sim, pois conforme a direção da onda, os objetos são impulsionados mais à frente. O objeto acompanha a onda.

A6 – Sim, a onda transmite a energia dela para o objeto fazendo que ele se mova.

A7 – Sim, são levados pelas ondas. Com a energia formada pelas ondas, os objetos se movem com elas.

A8 – Depende do tamanho das ondas, pois as maiores levam mais energia, assim conseguem locomover o “barco”.

A9 – Sim, pois a onda tem energia, tendo energia o objeto se move aos poucos.

A10 – Não, porque os copos sempre passam por cima da onda.

A11 – Sim, quando a onda forma energia, os objetos pegam essa energia e levam o objeto.

A12 – Quando o objeto se interfere, o objeto vai para frente.

A13 – Sim, com o impulso da onda, o copinho levanta, vai junto e para.

A14 – Sim, pelo impulso que a onda se propaga.

A15 – Sim, as ondas emitem uma força que empurra os objetos para a mesma direção.

A16 – Sim, pois apenas nas pequenas ondas que ela se locomovia.

A17 – Sim, ao formar a onda, cria um impulso que leva o objeto.

A18 – Sim, pelo fato de que ao momento de a onda passar pelo objeto ela está elevada, assim obrigando o objeto a subir para passar por ela e a força da gravidade a segura por um tempo ela na mesma altura, assim a onda a desloca para frente.

A19 – Como a força do atrito da água e a ondulação elevam o objeto e carrega ele para frente.

A20 – São levados lentamente pela onda.

A21 – Sim, aos poucos eles vão se movendo. Conforme a onda passa, uma força por baixo os eleva e faz se moverem aos poucos.

A22 – Sim, porque a força da onda faz com que o objeto vá e volta.

Na quarta questão, pode-se perceber que houve uma grande controvérsia por parte dos alunos que, de forma a tentar explicar o pequeno movimento dos copinhos quando da passagem das ondas por eles, usam vários artifícios como atribuir o movimento à energia transmitida pela onda. Apenas o grupo A18 consegue dar uma explicação

na direção correta, atribuindo à força gravitacional o movimento, embora ainda de forma pouco compreensiva.

Na revisão, bastou fazer uma comparação da onda na água com uma rampa para os alunos atribuírem o movimento dos copinhos à ação gravitacional, inclusive sobre haver maior movimentação para frente enquanto o copinho é atingido pela onda do que para trás após este atingir a crista da onda, devido ao fato da onda estar se deslocando e assim restando mais tempo na parte da frente do que atrás da onda.

Somente na aula seguinte, após o professor verificar as respostas dadas a cada pergunta, houve a revisão com as respostas “esperadas” para cada questão e a explicação do porquê científico, além de outras análises que acabaram sendo questionadas pelos alunos ou que surgiram durante a execução da atividade experimental e que não estavam previstas, como por exemplo o que aconteceria se mudássemos a densidade da água.

O grande diferencial da primeira atividade, pode-se dizer que foi a participação dos estudantes durante a revisão das questões. Durante o *feedback*, eles mesmos tentavam fazer novas formulações para suas respostas, discutiam entre eles as melhores hipóteses e prestavam mais atenção na fala do professor, afim de compreender melhor os fenômenos físicos vivenciados.

4.2.2 Respostas da Atividade experimental B – Velocidade e ondas estacionárias na corda

Figura 14: Formando ondas estacionárias



Fonte: O autor

Para a segunda atividade, os grupos, não necessariamente na mesma formação anterior, receberam uma corda comprida com algumas fitas amarradas em seu comprimento, uma trena e uma balança. O objetivo era formar ondas estacionárias na corda e com o auxílio de cronômetros e/ou câmeras determinar as frequências de oscilação necessárias para formar cada harmônico, ou seja, para aumentar um ventre a essas ondas estacionárias. Com isso, estimar a força de tração aplicada na corda e relacionar a onda com a energia.

4.2.2.1 Explique como as ondas estacionárias se formaram.

B1, (3), (4) – Formam a partir do encontro de uma onda (um pulso de onda) que vai e volta.

B2, (5), 6, 8, 9, 10 – (Elas se formam com um movimento constante). Uma onda estacionária é o resultado da superposição de duas ondas na mesma frequência, mesma amplitude, mesmo comprimento de onda, que se propagam na mesma direção em sentidos opostos.

B7 – Ondas que se propagam em sentidos contrários.

B11 – Se formam com o movimento do balanço do braço.

B12 – Ao atingirem a extremidade fixa elas se refletem com sentido de deslocamento contrário.

B13 – Se formam a partir de pulsos de ondas que se sobrepõem a outros tipos de ondas, vindo de direções opostas.

B14 – A onda estacionária não se forma com qualquer frequência. Tem que ter velocidade e o comprimento de onda em números múltiplos inteiros a fim das ondas refletirem formando interferências construtivas e destrutivas.

B15 – As ondas ocorrem quando acontece a interferência construtiva e destrutiva.

B16 – Se formou com a força e a velocidade, com a qual você coloca na corda. Quanto mais a velocidade aumenta, mais as ondas se propagam.

B17 – A formação da onda depende do comprimento da onda, frequência e tensão da corda.

B18 – Com uma extremidade presa e outra sofrendo vibrações periodicamente, originam-se perturbações regulares, que se propagam pela corda.

Observa-se uma repetição de respostas aparentemente copiadas da teoria, no entanto cabe lembrar que a essa altura os alunos já ligaram a observação com a teoria passada antes da primeira atividade e agora já

estavam mais familiarizados com os objetivos da proposta. Embora ainda com respostas incompletas, os grupos mostram compreender que a onda estacionária se forma pela interposição de duas ondas com sentidos de movimento opostos e com comprimentos de onda iguais. As descrições verbais sobre essa compreensão no momento da atividade eram bem coerentes, porém ao transpor as respostas para o papel, estes tiveram dificuldades em formar frases que correspondiam ao que haviam falado.

4.2.2.2 As fitas se deslocam junto com as ondas formadas? As ondas propagam matéria? Explique:

B1, 3 – Sim, porque as ondas não propagam matéria e sim energia.

B2 – Se deslocam, porém não na mesma direção. Ela vai para cima e para baixo. Não propagam matéria e sim energia.

B4 – Não propagam matéria, só energia. As fitas não se deslocam junto com a onda formada.

B5, 8* – Não responderam.

B6 – Não, porque elas fazem movimento de sobe e desce.

B7** - Desenharam as ondas transversais com setas indicando o movimento das fitas no sentido perpendicular da corda.

B9, 14 – Não, as ondas não propagam matéria. Elas apenas transportam energia.

B10 – Sim, pois ela leva energia.

B11 – Sim.

B12 – Não, pois a corda não é levada (matéria), só forma ondas.

B13 – Não propagam.

B15 – Elas subiam e desciam conforme a onda se formava. Não, pois as ondas subiam e desciam e não se deslocavam.

B16 – Não, pois as fitas apenas seguem a velocidade da corda.

B17 – Sim, propagam sua própria matéria.

B18 – Não, pois dá ilusão que se movem. As ondas não propagam matéria, as fitas ficaram no lugar apenas houve ilusão de óptica.

Apesar de algumas respostas ainda incoerentes, alguns alunos disseram ter feito relação com os copinhos na água da atividade anterior, da qual já havia sido feita a revisão. De certa forma, a expectativa do professor era de que fizessem essa comparação, mostrando terem compreendido a situação estudada. De fato, eles comentavam sobre a corda estar esticada e cada parte desta fazer apenas movimentos perpendiculares à velocidade da onda, fazendo relação de que, se não há

transporte de matéria, só pode ser a energia proporcionada pelo movimento das mãos que está sendo transportada por essa onda.

4.2.2.3 Ao agitar a corda, que grandeza foi transferida para a corda e transportada pelas ondas? Esclareça:

B(1), 2, 3, 4 – Força, energia (Eles propagam somente energia. Energia e frequência).

B5, 8 – Não responderam.

B6 – Energia.

B7 – Transporta a velocidade.

B9 – Ao agitar a corda, transferimos energia à mesma gerando ondas.

B10 – A onda leva energia e perde a velocidade.

B11 – Força.

B12 – Leva a velocidade e a energia, junto com as ondas.

B13, 14 – Agitando a corda, transmitiu energia.

B15 – A energia do movimento, pois se balançava a corda formando ondas.

B16 – Energia, força e velocidade.

B17 – A energia mecânica que foi produzida pelo agitador da corda e foi transportada pela corda, também se dissipando em força gravitacional e força centrífuga.

B18 – A onda transporta energia, não matéria.

Após verificar as respostas dessa pergunta, o professor percebeu a necessidade de reformular a mesma, pois houve dificuldade para sua interpretação. É notável que os alunos já entendam que a onda transporta a energia, mas ainda não conseguem dar uma explicação. Além disso, misturaram grandezas como Força e velocidade como se fossem transportadas pela onda. Como a atividade anterior, na aula seguinte o professor fez uma revisão explicando o que se esperava etapa por etapa.

Essa atividade, mesmo parecendo mais simples, foi a que os alunos mais tiveram dificuldades aparentemente, e pelos próprios comentários deles, tenha que ser reformulada. Os mesmos rabiscaram várias contas para calcular as velocidades das ondas, porém numa desordem total. Pelas declarações que faziam, notava-se que entendiam o objetivo da atividade, mas não sabiam se expressar.

No entanto, essa atividade marcou muito para os alunos, pois até o final do ano, era a atividade que mais tinham recordação e com o tempo passaram a falar com propriedade do assunto.

4.2.3 Respostas da Atividade experimental C – Pulso que sobe

Das atividades, essa era a mais simples, porém a mais esperada pelo professor, pois seria o momento de visualizar o efeito do transporte de energia pela onda de forma mais clara, além de ser a atividade experimental mais inédita do conjunto.

Com uma corrente fina fixada no teto do saguão da escola, os alunos provocavam pulsos de ondas de baixo para cima. Como a tensão da corrente aumenta de forma linear conforme aumenta a altura, devido a ter mais massa de corrente pendurada quanto mais alto, a velocidade do pulso de onda também aumenta. Isso contraria uma possível concepção alternativa de que o pulso subiria diminuindo a velocidade devido a ação gravitacional.

Figura 15: Formando pulso na corrente



Fonte: O autor

Para fazer uma comparação, o professor pendurou a mesma corda utilizada na atividade anterior em outro ponto. Como o efeito não fica tão perceptível na corda, esta ficou mais de lado, com os alunos focando mais na corrente.

4.2.3.1 Que tipo de movimento você observou nas ondas formadas?
Movimento uniforme, acelerado ou desacelerado?

C1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 22, 23 – Acelerado.

C7, 18, 20 – Uniforme.

C8 – Desacelerado.

C13 – Movimento acelerado. No começo ela é devagar e no final acelera.

C14 – Na corda, desacelerado. Na corrente, uniforme.

C15 – Movimento acelerado, na volta ele diminui.

C19 – Acelerado e uniforme.

C21 – Movimento desacelerado (corda). Movimento acelerado (corrente).

C24 – Acelerado, porque transporta energia.

C25 – Movimento uniforme acelerado.

Embora a resposta a essa pergunta fosse mais objetiva, houve algumas observações que resolvemos manter individualmente. Por mais óbvia que seja a resposta, apenas 76 % dos grupos conseguiram perceber o pulso de onda subindo de forma acelerada, mas isso porque não era fácil construir um pulso de onda perfeito. A corrente balançava muito e era preciso esperar que esta ficasse bem estável para então, provocar o pulso.

4.2.3.2 Que tipo de movimento você esperava que acontecesse?

C1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 18, 20 – Desacelerado.

C2 – Desacelerado, pois a gravidade desacelera a energia contida na onda.

C6 – Esperava que fosse rápido e voltasse devagar. Movimento desacelerado.

C8, (14), (15), 22, (25) – Movimento uniforme. (Esperávamos que fosse uniforme). (Movimento constante). (Propagar sempre o mesmo movimento).

C12 – Desaceleração por conta da gravidade.

C13 – Que a velocidade fosse a mesma na subida e na descida da onda.

C16 – Já esperava que acontecesse isso.

C17 – Chegasse ao meio e descesse de novo.

C19 – Movimentos aleatórios.

C21 – Um movimento rápido de longa duração (corrente). Rápido, porém de curta duração (corda).

C23 – Nós esperávamos que ocorresse um movimento desacelerado, como uma bolinha.

C24 – Desacelerado. Achei que a corda perderia força na subida e desceria mais devagar.

Essa pergunta poderia ter sido feita antes da execução da experiência, mas os alunos mantiveram a fidelidade das respostas, mostrando suas concepções alternativas, na maioria, contrárias à realidade. Apenas um grupo (C16) afirmou que já esperavam que acontecesse um movimento acelerado na subida. Isso mostra a validade da experiência, pois um caso como esse seria complicado explicar apenas na teoria, pois estes provavelmente continuariam com a visão do movimento de subida desacelerado.

4.2.3.3 Quais as diferenças e semelhanças observadas entre o movimento do pulso na corda e na corrente? Explique:

C1 – As duas fazem o mesmo movimento, porém tem velocidades diferentes, por causa da densidade.

C2 – Ambas têm movimento acelerado. Não conseguimos observar diferença entre a corda e a corrente.

C3 – Na corrente a velocidade é mais acelerada, pois tem menos massa. Na corda a velocidade é acelerada por conta da quantidade de massa que ela contém.

C4, 5 – A diferença entre os dois é a densidade. A semelhança é a energia de acordo com a pulsação delas.

C6 – A diferença é que na corda o movimento vai mais devagar e na corrente vai mais rápido. A semelhança é que as duas tem movimento acelerado.

C7 – Que na corrente se percebe melhor o movimento.

C8 – A corrente tem uma densidade menor que a corda, devido a isso a corrente transporta mais energia e define melhor as ondas.

C9 – Que a corrente tem um movimento acelerado e forma ondas estacionárias e a corda possui um movimento uniforme.

C10 – A diferença é que a velocidade da corda é menor do que da corrente. Semelhança é que elas fazem o mesmo movimento.

C11 – Na corda não completa a onda. Na corrente é completa, sobe e desce.

C12 – Ambas quando chegam ao topo aceleram, porém, a corrente é mais visível.

C13 – Diferença: Na corda a onda não chega até o final e na corrente sim; a massa das duas. Semelhança: As duas aceleram no final e na volta.

C14 – Semelhança: Na ida, com o pulso, as duas subiam iguais. Diferença: Na descida, a corrente volta no mesmo ritmo, a corda desce diferente.

C15 – Semelhança: Na volta as duas foram acelerados. Diferença: Corrente com movimento constante e a corda desacelerado.

C16 – Na corrente o movimento fica mais rápido que na corda.

C17 – As duas aceleram na subida.

C18, 20 – Na corrente, um movimento mais rápido e mais formado. Na corda é lento e menos formado.

C19 – A corrente tem um movimento completo. A corda não vai até o fim.

C21 – A corda é mais pesada, sendo assim mais lenta. A corrente é leve, ou seja, mais rápida; ambas fazem o mesmo percurso e movimento.

C22 – A corrente quando chega ao topo dá impressão que acelera e a corda que diminui.

C23 – A semelhança é que ambas davam uma chicoteada no final. A diferença é que a corda tem uma massa maior que a corrente.

C24 – Não respondeu.

C25 – Corrente uniforme e corda desacelerado. Propagam energia.

Apesar de terem respostas diversas para essa pergunta, no momento da aula de *feedback* os alunos mostraram terem o mesmo entendimento sobre as ondas subirem em movimento acelerado. Os comentários que surgiram foram de que não conseguiram expressar suas respostas na hora de escrever. O mais importante dessa pergunta é que podemos confirmar que a corrente tem um efeito visual melhor.

4.2.3.4 De acordo com a resposta da questão 1, o que você conclui que é transportado com o pulso da onda? Matéria, energia ou outra grandeza física? Explique:

C1 – Energia, pois não é massa e a gravidade não interfere na velocidade.

C2 – Energia, pois ela tem movimento acelerado e a gravidade não interfere na sua velocidade.

C3 – Energia, pois quando o pulso de onda ocorre é levado apenas energia pela onda e não matéria.

C4 – É energia, tem movimento acelerado e não sendo massa a gravidade não interfere em sua velocidade.

C5 – Energia, por não ter a intervenção da gravidade na velocidade da onda.

C6 – Energia, porque quando você faz o pulso na corda, ela fica no mesmo lugar. Por exemplo, jogar uma bolinha para cima ela carrega a massa (vai junto) e já na corda e na corrente você faz o pulso e carrega energia, mas não sai do lugar.

C7 – Energia, pois depende da maneira que vai mexer a corda ou a corrente.

C8 – Energia. A energia do nosso corpo passa para a corda, formando as ondas.

C9 – Energia, porque ela não teve uma desaceleração.

C10 – Transporta energia conforme a força do pulso de onda.

C11 – Energia, porque ela precisa de certa força para formar a onda.

C12 – Grandeza física, por conta de um movimento para realizar a ação.

C13 – Energia, porque impulsionou a corda.

C14 – Energia, por causa da força do pulso.

C15 – Pelo impulso da corda, pela velocidade atinge a energia. (?)

C16 – Energia, por causa do impulso da onda.

C17 – Não responderam.

C18, 20 – Energia, a corda se mexe de modo que transporta energia mecânica até sua extremidade superior.

C19 – Energia e matéria também.

C21 – Energia, pois quanto mais leve, mais rápido, ou seja, mais energia por segundo.

C22 – Energia, porque quanto mais pesado a corrente e ela vai ficar mais esticada e então a onda vai subir cada vez mais rápida.

C23 – É transportado energia, pois ao impulsioná-la você transmitia a energia para o corpo (corda ou corrente).

C24 – Energia, porque a onda da corrente transportava energia.

C25 – A onda propaga energia e não matéria.

Nessa etapa, apesar de ainda haver algumas respostas incoerentes, os grupos demonstraram maior compreensão sobre os efeitos ondulatórios. Além disso, os questionamentos e comentários feitos por eles durante a execução da atividade foram muito mais maduros, ou seja, mostrando apropriação de conteúdo. Em vários momentos, os alunos faziam relação dessa atividade com as anteriores, afirmando que agora estavam

compreendendo determinadas situações que haviam observado, como por exemplo, os copinhos na água da primeira atividade, dos quais eram pouco afetados pelas ondas e que seu pequeno movimento se dava apenas pela ação da gravidade quando o copinho era obrigado a subir para a passagem da onda. Isso mostra a importância da sequência das atividades, pois uma atividade isolada não tem tanto efeito de compreensão, enquanto que as três se relacionam de forma complementar.

4.2.4 Questionário de satisfação

Depois de encerrada a sequência de atividades experimentais e feitas as devidas revisões conceituais, os alunos foram convidados a responderem o questionário de satisfação, a fim de analisarmos a validade do projeto e buscar melhorias. Infelizmente, por contratempos de final de semestre, apenas uma das turmas do matutino e a turma do noturno tiveram tempo hábil para responder o questionário.

Aqui, como as respostas são individuais, cada número corresponde a um aluno e para a segunda pergunta fizemos um tratamento estatístico.

4.2.4.1 De modo geral, as atividades ajudaram na compreensão dos conceitos estudados sobre ondulatória? Comente sua resposta:

- 1 – Sim, conseguimos entender o assunto com mais facilidade.
- 2 – Sim, pois com experiências e na prática é mais fácil a compreensão.
- 3 – Sim, pois não só escrevemos como colocamos em prática o que estudamos em sala com o professor.
- 4 – Apenas as atividades 1 e 2.
- 5 – Ajudaram a entender melhor o assunto, pois não ficou apenas na teoria, mas sim na prática. A prática facilita o aprendizado, em minha opinião.
- 6 – A atividade 2 que me fez entender melhor.
- 7 – Sim, pois foi possível visualizar como ocorre na prática, ligando assim a teoria.
- 8 – Sim, as atividades analisando bem ajudam bastante.
- 9 – sim.
- 10 – Sim, porque agora consegui entender um pouco como se formam as ondas na água.
- 11 – Não. Faltou explicação.
- 12 – Sim, porque através da ondulatória é que se pode chegar à conclusão em que os cálculos chegaram a um resultado exato.

13 – Sim, pois estou compreendendo melhor o assunto e melhorou muito minhas notas.

14 – Um pouco entendi mais sobre velocidade e ondas estacionárias na corda.

15 – Sim. De certo modo as atividades realizadas e as explicações ajudaram muito mais no entendimento do conteúdo. Consegui entender com mais clareza.

16 – As atividades ajudaram a compreender principalmente a velocidade e ondas estacionárias na corda.

17 – Sim, eu entrei mais no conteúdo e aprendi mais.

18 – Sim, ajudaram muito. É bem melhor para aprender e compreender com as atividades práticas.

19 – Sim, ajudaram muito, pois a prática facilita o aprendizado e as pesquisas realizadas também trazem mais conhecimento.

20 – Sim, ajudaram muito. Tem que continuar com as aulas práticas.

21 – Sim, ajudaram muito. A forma de como ele apresenta a atividade é divertida e dá de aprender.

22 – Sim, pois com essas atividades conseguimos aprender melhor e ter uma conclusão bem mais válida desse assunto.

23 – Sim, porque comecei a compreender melhor o conteúdo sobre ondulatória. O que eu imaginava que era, na verdade é muito diferente e com os exercícios comecei a compreender melhor a matéria.

24 – Sim, ajudou bastante na compreensão dos conceitos e aprimorar o estudo sobre ondulatória e consegui aprender mais com a prática.

25 – Sim, as atividades foram bem desenvolvidas e facilitaram o entendimento do conteúdo.

26 – Sim, porque a gente consegue entender melhor.

27 – Sim, pois na prática fica mais fácil compreender o que foi explicado.

28 – Ajudaram, pois esse tipo de trabalho, além de ser mais divertido, é mais fácil a compreensão.

29 – Sim, fica muito mais fácil de compreender o assunto estudado com as práticas do que só na teoria. Você vendo e experimentando o assunto estudado fica mais fácil.

30 – Sim! Em minha opinião contribuiu bastante, porque teve aula prática. E isso é um dos meios que eu acho mais fácil de aprender.

31 – Sim, pois aprendi coisas que não sabia e a ondulatória está em todos os lugares. Aprendi a ver essas coisas em outra forma. E foi muito bom porque teve mais prática que teoria.

Aqui, os estudantes deixaram clara a satisfação em trabalhar com atividades experimentais, não só sobre o tema abordado, mas de forma geral.

4.2.4.2 Classifique as atividades em ordem de importância para a compreensão dos conceitos estudados, atribuindo 1 (um) para a que menos contribuiu, até 3 (três) para a que mais contribuiu:

- () *Atividade A: Velocidade das ondas na água*
- () *Atividade B: Velocidade e ondas estacionárias na corda*
- () *Atividade C: Pulso que sobe (corrente pendurada)*

As respostas tiveram as seguintes configurações:

(A, B, C) – Número do estudante

- (1, 2, 3) – 14, 20,
- (1, 3, 2) – 1, 7, 15, 16,
- (2, 1, 3) – 11, 21, 26, 27, 28,
- (2, 3, 1) – 4, 8, 12,
- (3, 1, 2) – 6, 29,
- (3, 2, 1) – 10, 13, 17,
- (1, 3, 1) – 9,
- (2, 2, 2) – 3, 30, 31,
- (2, 3, 2) – 25,
- (3, 1, 3) – 24,
- (3, 2, 2) – 2, 5, 22,
- (3, 3, 2) – 19,
- (3, 3, 3) – 18, 23,

Esperava-se a configuração sem repetição de importâncias, porém, de forma surpreendente os alunos classificaram de acordo com o apresentado, dificultando uma análise estatística, havendo 13 variações de respostas para apenas 31 entrevistados. Em declarações verbais, estes disseram que na verdade não houve uma atividade mais importante que a outra e sim, que uma atividade completou a outra. Por esse motivo, nos limitamos a expor as respostas sem fazer um tratamento estatístico mais detalhado.

4.2.4.3 Deixe aqui sua opinião que possa contribuir para melhorias nas atividades propostas: (Use o verso se necessário)

1 – Poderia ter feito mais atividades experimentais relacionadas sobre isso.

2 – Todas as atividades realizadas foram bem entendidas.

3 – Cada conteúdo estudado por em prática.

4 – Para melhoria deveria ter mais atividades escritas.

5 – Acredito que do modo com que está sendo trabalhado está ótimo.

6 – Para melhoria acho que deveria ter mais atividades práticas.

7 – Veio a ser bem compreendido, mas um pouco mais de conhecimento teórico auxiliaria a compreensão.

8 – Eu acho que com as atividades experimentais eu consigo compreender mais. Está muito bom com as aulas experimentais com menos teoria.

9 – Em minha opinião deveria explicar mais sobre velocidade das ondas.

10 – Eu achei que as atividades foram bem boas e deu para entender bem sobre o conteúdo proposto.

11 – Tem que haver mais explicação para poder entender o porquê das atividades.

12 – Em minha opinião as atividades que foram apresentadas ficaram de uma forma que dava para entender a velocidade em que as ondas estacionárias se formavam.

13 – Não precisa de melhoria nenhuma, pois as aulas são muito boas.

14, 16 – Ligar o “blade” (?) e medir sua velocidade sonora.

15 – Todas as atividades realizadas foram de bom entendimento. Com isso acho que o professor deveria continuar fazendo atividades experimentais para melhor compreensão.

17 – Ter mais atividades como essas que o professor passou. Elas foram divertidas e aprendemos mais.

18 – Com as aulas práticas, com vários exemplos é melhor para aprender e guardar na cabeça. Isso acontece sempre porque é a forma mais fácil de aprender. Acho que deveria ter mais práticas.

19 – Continuar com as atividades dinâmicas, práticas, pois elas ajudam muito no entendimento do conteúdo.

20 – Continuar as aulas práticas. As aulas no laboratório são muito legais. Aulas práticas ajudam mais no aprendizado, pois fica mais fácil o entendimento.

21 – Está bom assim. Atividades em grupos se tornam mais legais, e isso basta.

22 – Não há necessariamente uma melhoria e sim, dar continuidade a essas aulas diferenciadas, que ajudaram muito no entendimento da matéria.

23 – Do meu ponto de vista, para melhor compreensão seriam necessárias mais aulas práticas do que teóricas e mais exemplos.

24 – Achei interessantes todas as atividades práticas, mas acho que poderia melhorar alguma coisa. Mas o que vale é o aprendizado que obtivemos.

25 – Mais aulas desenvolvidas em grupo e no laboratório facilitam na aprendizagem.

26 – Acho que não precisa mudar nada. Desse jeito já está bom, pois assim faz com que a gente pergunte novamente para ter uma explicação diferente.

27 – Eu acho que não precisa haver mudanças, pois fazendo as atividades em grupo fica mais fácil para compreender o conteúdo.

28 – As atividades estão boas assim, pois trabalhando em grupo conseguimos mais opiniões e aprendemos com mais facilidade.

29 – Em minha opinião, do jeito que foi feito as atividades estão deixando claro o assunto.

30, 31 – Não tem melhoria! “Perfect”

Mais uma vez, ficou clara a tendência pela preferência sobre atividades experimentais em geral. Os poucos que afirmaram haver necessidade de alguma melhoria não explicitaram que tipo de melhoria. Os entrevistados 4, 7, 9 e 11 afirmaram que deveria haver mais explicação do porquê das atividades ou sentiram alguma insatisfação em realizar atividades experimentais, ou seja, alguns poucos mostraram ter mais interesse na explicação teórica, revelando que sempre haverá divergências sobre a preferência na forma de estudo. Isso também comprova sobre a necessidade de um equilíbrio entre teoria e práticas experimentais.

4.3 O PRODUTO EDUCACIONAL

Nos apêndices apresentamos a sequência de atividades, tais como foram aplicadas, seguidas de fotos da execução de cada atividade e orientações para os professores. Trata-se de roteiros simples, que podem ser adaptados e/ou melhorados.

Em cada atividade os alunos recebiam um novo desafio a partir das orientações contidas nos roteiros. Cada desafio consistia em interpretar os conceitos a serem analisados, como sequência do que já haviam aprendido. Após a interpretação destes, o professor entrava em cena para corrigir dúvidas e dar melhor encaminhamento às atividades.

O que se pretendia, seria criar situações experimentais de investigação, em que os estudantes tivessem mais liberdade para descobrirem os conceitos envolvidos, criarem hipóteses e analisarem a validade de suas hipóteses, porém, estes ainda não estavam habituados com atividades práticas. Dessa forma, foi necessário criar um questionário, não totalmente fechado, mas que desse um caminho a ser seguido. Ainda assim, foi possível deixar com que suas hipóteses fossem formalizadas para posterior discussão com o professor.

O produto consta de atividades simples destinadas ao estudo da mecânica ondulatória, porém com a forma como foi aplicada, foi possível fazer observações comportamentais dos alunos quando colocados em situações não habituais, como atividades experimentais sem um roteiro totalmente fechado. Nesse caso, notamos certo desconforto inicial de boa parte dos alunos por estarem em um ambiente que não estavam acostumados, mas que, com o passar das atividades, estes foram se sentindo mais à vontade, de modo que passaram a preferir esse tipo de abordagem educacional.

5 CONCLUSÃO

Pensando em um material simples, de fácil acesso aos professores de escolas públicas, ao longo desse período estudamos a proposta de criar uma sequência de experiências voltadas para o estudo da ondulatória. Após pesquisa nos livros didáticos de Física, verificamos que essa é uma área pouco explorada no Ensino Médio, o que vai contra a tendência de se introduzir temas de Física Moderna nessa fase do ensino, visto que temas como Óptica Física, Mecânica Quântica e mesmo Física de Partículas, dependem do conhecimento sobre ondulatória.

Entre várias idas e voltas, com várias ideias e formatos de trabalho, chegamos ao produto final. Falo sobre isso pelo fato de mudanças de endereço e de local de trabalho que mostraram realidades diferentes e a necessidade de alterações, transformando um trabalho quase pronto em algo totalmente novo e diferente do projeto inicial.

Aplicando o projeto pronto na escola, a pesquisa tomou um rumo que não havíamos programado inicialmente, tratando-se da análise comportamental dos alunos perante atividades experimentais com roteiros não totalmente fechados, quando o professor deixa que os alunos trabalhem ao seu modo e construam suas hipóteses aos conceitos físicos a partir de observações para, após esses momentos, o professor ajudá-los a organizar as ideias e concepções.

Realmente, trabalhar nesse formato exige muito cuidado por parte do professor, pois os alunos podem criar situações inesperadas, como perguntas, das quais este deve estar preparado para responder. Outro ponto é que os alunos devem estar interessados em participar desse tipo de trabalho, pois eles também ficam em uma situação desconfortável em que devem dispor de atenção e curiosidade.

Também foi possível concluir sobre a necessidade da diversificação dos formatos das aulas, intercalando entre teoria e prática, evitando a acomodação por parte dos educandos.

Sendo assim, deixamos uma pequena proposta de atividades simples, mas que despertaram o interesse dos cerca de noventa alunos que participaram da execução do que posso chamar de protótipo educacional, pois pode ser recriado com novos formatos e novos direcionamentos.

Esperamos que essa proposta possa colaborar com a prática pedagógica de outros professores, mostrando que a Física pode ser ensinada com simplicidade e não como algo intocável, como visto pela maior parte da população.

REFERÊNCIAS

- [1] PINTO, A. Custódio; ZANETIC, J. **É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio?** Cad. Cat. Ens. Fís., v. 16, n. 1: p. 7-34, abr. 1999.
- [2] HERNANDES, Claudio L.; CLEMENT, Luiz; TERRAZZAN, Eduardo A. **Realização de atividades experimentais numa perspectiva investigativa: um exemplo no ensino de Física.** IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, São Paulo, 2002. Disponível em:
<<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/ivenpec/Arquivos/Painel/PNL220.pdf>>. Acesso em 31 mai. 2018.
- [3] BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio.** Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em:
< <http://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/mestradogui-1.pdf>>. Acesso em 25 mai. 2018.
- [4] FOSSILE, Dieysa K. **Construtivismo versus sociointeracionismo: uma introdução às teorias cognitivas.** *Revista Alpha*, Patos de Minas, UNIPAM. 2010. Disponível em:
<http://alpha.unipam.edu.br/documents/18125/23730/construtivismo_versus_socio_interacionsimo.pdf>. Acesso em 30 jan. 2018.
- [5] MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Porto Alegre: Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em:
<<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>>. Acesso em 30 jan. 2018.
- [6] GOBARA, Shirley Takeco; ERROBIDART, Nádia Cristina Guimarães; MARQUES, Simone Machado; JARDIM, Maria Inês Affonseca; ERROBIDART, Hudson Azevedo; PLAÇA, Luiz Felipe. **O conceito de ondas na visão dos estudantes.** Campo Grande: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2006. Disponível em:
<<http://www.nutes.ufmj.br/abrapec/vienpec/CR2/p1055.pdf>>. Acesso em 30 jan.2018.

[7] ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. **Atividades experimentais no Ensino de Física:** diferentes enfoques, diferentes finalidades. São Paulo: Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Cruzeiro do Sul; Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://files.fisicafulltime.webnode.com/200000014-b2461b366c/Ensino%20de%20F%C3%ADsica.pdf>>. Acesso em 30 jan. 2018.

[8] OLIVEIRA, Jane Raquel Silva de. **Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências:** reunindo elementos para a prática docente. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2010. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/laequi/wp-content/uploads/2015/03/contribuicoes-e-abordagens-de-atividades-experimentais.pdf>>. Acesso em 30 jan. 2018.

ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. **Física.** 1ª ed. Positivo, 2013.

BACHELARD, G. **O novo espírito científico.** Coleção os pensadores, Rio de Janeiro, Abril Cultural, 1978.

BARRETO, B.; XAVIER, C. **Física 3 – aula por aula –** Eletromagnetismo, Ondulatória, Física Moderna, 2ª ed. São Paulo: FTD, 2013.

BÔAS, Newton V.; DOCA, R. Helou; BISCUOLA, Gualter J. **Física 2 –** Termologia, Ondulatória, Óptica, 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

FEYNMAN, Richard P. **The Feynman Lectures on Physics,** Volume I. Disponível em: <http://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_toc.html>. Acesso em 30 jan. 2018

FUKE, L. F.; YAMAMOTO, K.; **Física para o ensino médio.** 3ª ed. Saraiva, 2013.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física 2 –** Ondas, Óptica e Termodinâmica, 2ª ed. São Paulo: Ática, 2014.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física –** Interação e tecnologia. 1ª ed. Leya, 2013.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física 2**, 1ª ed. São Paulo: Ática, 2014.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física** - Vol. 2 - Gravitação, Ondas e Termodinâmica, 10ª edição. LTC, 2016.

HETEM JUNIOR, Anibal; HETEM, Calvin G. **Fundamentos de Matemática – Física para Licenciatura: Ondulatória**, 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MARTINI, G.; SPINELLI, W.; CARNEIRO REIS, H.; SANT'ANNA, B. **Conexões com a Física**. 2ª ed. Moderna, 2013.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física 2 – Contexto e Aplicações**, 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2014.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2ª ed. São Paulo. Editora Pedagógica e Universitária, 2011.

PRADO, E.; BONJORNO, R. F. S. A.; BONJORNO, V. **Física**. 2ª ed. FTD, 2013.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em Contextos 2 – Energia, calor, Imagem e Som**, 1ª ed. São Paulo: FTD, 2010.

STEFANOVITS, A. **Ser protagonista – Física**. 2ª ed. SM, 2013.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. DE T.; PENTEADO, P. C. M. **Física: Ciência e Tecnologia 2 – Termologia, Óptica, Ondas**, 3ª ed. São Paulo: Moderna, 2013.

APÊNDICE A – Produto educacional

Introdução

Esse material foi criado como parte integrante da dissertação do Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF, do qual se buscou aprofundar sobre o ensino de Física Ondulatória no ensino médio, uma área ainda pouco explorada e que se faz necessária para o entendimento dos conceitos de Física Moderna, que se torna cada vez mais necessária como parte integrante do currículo de Física, visto o avanço das modernidades a que estamos sujeitos.

Apresentamos aqui um material simples de ser reproduzido, constando de três atividades práticas que visam compreender, principalmente, o transporte de energia através das ondas mecânicas. Por se tratar de roteiros experimentais, estes podem ser adaptados e/ou melhorados conforme a situação de cada unidade escolar.

O produto consta de atividades simples destinadas ao estudo da mecânica ondulatória, porém a forma como foi aplicada no projeto piloto, teve como intuito fazer observações comportamentais dos alunos quando colocados em situações não habituais, como atividades experimentais com questões não totalmente fechadas. Nesse caso, notamos certo desconforto inicial de boa parte dos alunos por estarem em um ambiente que não estavam acostumados, mas que, com o passar das atividades, estes foram se sentindo mais à vontade, de modo que passaram a preferir esse tipo de abordagem educacional. Sendo assim, o professor que for aplicar esse roteiro poderá acompanhar os alunos de forma mais participativa, diminuindo a tensão sentida por eles e tornando as aulas mais divertidas.

Em cada atividade, apresentamos um roteiro para os alunos, contendo ao final um pequeno questionário, o qual pode ser ampliado e acrescido de exercícios, caso seja necessário. Na sequência de cada atividade, temos algumas orientações de montagem para o professor.

Atividade experimental A

Velocidade das ondas na água

Participantes:

.....
.....
.....

Material:

- Cano de PVC de 2,5 m cortado longitudinalmente.
- Água com corante.
- Agitador.
- Trena.
- Cronômetros.
- Pequenos objetos flutuantes (copinhos plásticos).

Procedimento:

- Agitar a água em uma das pontas do cano a fim de provocar um pulso de onda apenas.
- Com o cronômetro, medir o tempo de propagação desse pulso de onda até pontos marcados e medidos no cano.
- Calcular a velocidade escalar média até cada ponto.
- Formar ondas em sequência e verificar seus encontros.
- Coloque pequenos objetos flutuantes na água e observe o que acontece na passagem das ondas por esses objetos.

Perguntas:

- 1) Houve variação na velocidade de propagação da onda ao longo do percurso?
- 2) Houve dissipação de energia ao longo do percurso no cano? Explique:
- 3) Descreva o que você observou durante e depois dos encontros entre as ondas formadas e refletidas.
- 4) Os objetos flutuantes são levados pelas ondas? Encontre uma explicação para isso:

Orientações ao professor: Atividade A

Na figura 1A temos a montagem da primeira experiência. Utilizou-se um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro e cerca de 3,0 m de comprimento. Cortamos aproximadamente 0,5 m e adaptamos uma curva de 45°. Essa ponta inclinada tinha o objetivo de ser um conduto para soltar um objeto que provocaria as ondas na água. Esse conduto acabou não sendo de muita utilidade, pois os alunos preferiram provocar as ondas com uma tampinha diretamente na água. Dessa forma, as duas pontas do tubo podem ser simplesmente fechadas com capes para tubo de PVC 100 mm, como aparece no lado esquerdo da figura 1A.

A parte mais importante é o corte longitudinal, que deve retirar menos da metade do diâmetro do tubo. Para isso, é preciso marcar por onde passará o corte, que pode ser feito com uma serra de cortar ferro, do mesmo modelo que aparece no canto da figura 1A. Também se faz necessário manter alguns pontos de sustentação para o tubo não se deformar. Nesse caso, deixamos as pontas e dois locais equidistantes ao longo do tubo.

Havendo a disponibilidade, esse tubo cilíndrico pode ser substituído por um tubo retangular, o que formará ondas mais regulares, além de facilitar o corte longitudinal.

Figura 16: 1A: Montagem calha de água



Fonte: O Autor

Na figura 2A temos a disposição da experiência no laboratório. Para a sustentação do tubo, fizemos quatro suportes de madeira com encaixe de 100 mm de diâmetro. Para isso, recorremos a uma marcenaria. Caso seja utilizado um tubo retangular, esses suportes se tornam desnecessários.

Após fixar o tubo no local, preenchemos de água com corante para que as ondas ficassem mais visíveis. Nota-se que o tubo deve estar bem nivelado.

Figura 17: 2A: Disposição no laboratório



Fonte: O Autor

Na figura 3A temos os alunos fazendo medidas e observações em grupos. Para as perguntas 1 e 2, bastava que provocassem um pulso de onda em uma das extremidades do tubo e medissem a sua velocidade tanto no sentido de ida, como seu reflexo, e comparassem se houve variação ou não na velocidade. Por simplicidade, a maioria apenas mediu o tempo de ida e de volta do pulso de onda, chegando à conclusão de que, sendo o tempo de volta maior, a velocidade da onda diminui.

Para facilitar, propõe-se que sejam feitas marcações de medidas ao longo do tubo. Os alunos terão apenas que calcular a velocidade média através da equação

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

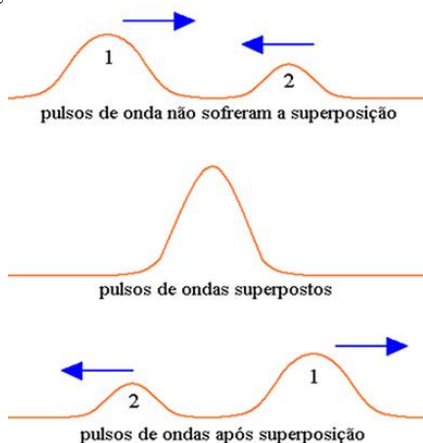
Figura 18: 3A: Ondas na água



Fonte: O Autor

Para a pergunta 3, os alunos devem provocar dois pulsos de onda em sentidos opostos, a fim de haver o encontro dessas ondas, como na figura 4A. Para isso podem provocar um pulso de onda e aguardar seu reflexo para provocar o segundo, ou podem provocar dois pulsos simultâneos, um em cada extremidade do tubo. Essa observação tem o objetivo de verificarem a superposição construtiva de ondas.

Figura 19: 4A: Interferência de ondas



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/interferencia-ondas.htm>

Para a pergunta 4, os alunos dispunham de alguns copinhos plásticos para distribuir na água. Ao provocar pulsos de onda, devem observar e descrever o que acontece com esses copinhos quando as ondas passam pelos mesmos.

O que se espera nesse momento é que os alunos percebam o não transporte de matéria pelas ondas. Os copinhos até irão se mover um pouco na passagem da onda, mas isso se deve à atração gravitacional momentânea com a passagem da onda, uma vez que esta fará o papel de uma rampa passageira. Assim é que o surfista é deslocado pela onda, mas isso não quer dizer que a onda transporta matéria.

Figura 20: 5A: Onda e matéria



Fonte: <https://globosatplay.globo.com/canal-off/v/6545337/>

Atividade experimental B

Velocidade e ondas estacionárias na corda

Participantes:

.....

Material:

- Uma corda.
- Algumas pequenas fitas coloridas.
- Trena.
- Balança.
- Cronômetros ou celular com câmera.

Procedimento:

- Com a balança, determine a massa (m) da corda e com a trena, meça seu comprimento (L).
- Calcule a densidade linear da corda ($\mu = \frac{m}{L}$).
- Amarre firmemente algumas pequenas fitas na corda.
- Estique parte da corda, meça esse comprimento (L') e faça ondas estacionárias a partir do primeiro harmônico, aumentando sucessivamente.
- Meça o tempo (Δt) com o cronômetro e conte o número (n) de oscilações feitas nesse tempo para cada harmônico produzido (se necessário, filme o movimento da mão para facilitar a contagem posteriormente).
- Calcule as frequências de vibração produzidas para cada harmônico ($f = \frac{n}{\Delta t}$).
- Com os resultados, calcule a velocidade (v) de propagação das ondas formadas ($v = \lambda \cdot f$), onde $\lambda = 2 \cdot \frac{L'}{N}$ e N são os números de harmônicos.
- Calcule a tensão (F) da corda ($F = \mu \cdot v^2$) para cada harmônico formado.

Perguntas:

- 1) Explique como as ondas estacionárias se formaram.
- 2) As fitas se deslocaram junto com as ondas formadas? As ondas propagam matéria? Explique:
- 3) Ao agitar a corda, que grandeza foi transferida para a corda e transportada pelas ondas? Esclareça:

Orientações ao professor: Atividade B

Nas figuras 1B, 2B e 3B, apesar de pouco visível, os alunos estão produzindo ondas estacionárias em uma corda com uma das pontas presa a uma trave. Para destacar o movimento, as fotos foram editadas para destacar o contorno da corda.

O processo aparentemente é simples, porém contar as oscilações e medir seu tempo é uma tarefa nada fácil. Sugere-se filmar a ação para depois utilizar algum recurso de câmera lenta para contar o número n de oscilações feitas e utilizar o tempo de filmagem. Ao realizar a experiência sob o Sol, tem-se o efeito da sombra da corda, que pode ser muito bem explorado.

Outro detalhe se refere a manter a corda com uma tração aproximadamente constante para obter resultados semelhantes nos cálculos da tração da corda para cada harmônico produzido.

O objetivo é que os alunos percebam que, mantendo a tração da corda constante, seja necessário aumentar a frequência de vibração da corda em múltiplos inteiros da primeira frequência para obter o próximo harmônico.

Para a primeira pergunta, espera-se que os alunos consigam descrever a sobreposição das ondas refletidas sobre as produzidas em comprimentos de onda iguais, onde os ventres são formados pela interferência construtiva e os nós, pela interferência destrutiva.

Quanto às fitas na corda, estas não ficaram muito visíveis. Então, para que se tenha melhor efeito, o melhor é utilizar fitas grandes e bem chamativas com cores contrastantes. A função dessas fitas é destacar o movimento perpendicular da corda em relação à propagação das ondas. Dessa forma, os alunos podem responder a segunda pergunta mais facilmente, pois podem visualizar melhor que a matéria formada pela corda não é transportada na direção de propagação das ondas. De forma intuitiva, estes podem concluir sobre o transporte de energia, respondendo a terceira pergunta.

Figura 21: 1B: Ondas estacionárias



Fonte: O Autor

Figura 22: 2B: Ondas estacionárias



Fonte: O Autor

Figura 23: 3B: Ondas estacionárias



Fonte: O Autor

Atividade experimental C

Pulso que sobe

Participantes:

.....
.....
.....

Material:

- Uma corda.
- Uma corrente fina e comprida.

Procedimento:

- Pendurar a corda e a corrente, separadamente, em um teto alto.
- Provocar um pulso de onda na corda e na corrente, independentemente, de baixo para cima (Repetir esse procedimento várias vezes buscando formar a melhor onda).

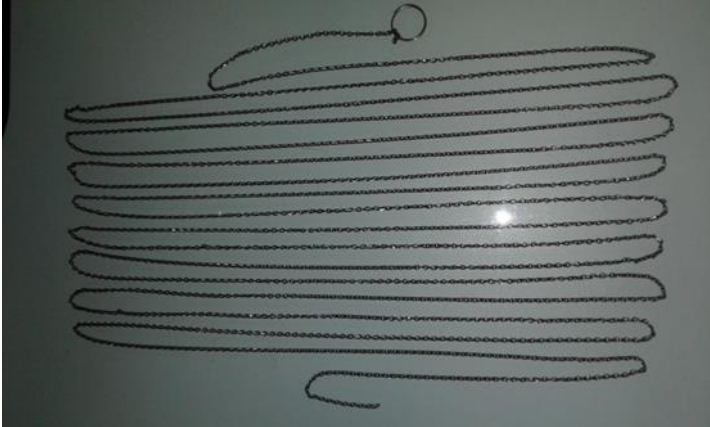
Perguntas:

- 1) Que tipo de movimento você observou nas ondas formadas? Movimento uniforme, acelerado ou desacelerado?
- 2) Que tipo de movimento você esperava que tivesse acontecido?
- 3) Quais as diferenças e semelhanças observadas entre o movimento do pulso na corda e na corrente? Explique:
- 4) De acordo com a resposta da questão 1, o que você conclui que é transportado com o pulso de onda? Matéria, energia ou outra grandeza física? Explique:

Orientações ao professor: Atividade C

Na figura 1C temos a corrente utilizada na terceira atividade experimental. Trata-se de uma corrente fina com pouco mais de 6 m e bem maleável.

Figura 24: 1C: Corrente



Fonte: O Autor

Essa atividade se destina à observação de como um pulso de onda se comporta ao ser produzido de baixo para cima em uma corrente fina e maleável.

Considerando que a velocidade de um pulso de onda pode ser medida a partir da tensão τ , através da equação

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

em que μ é a densidade linear da corda esticada, e considerando que a corrente pendurada tem sua tensão aumentada de baixo para cima pelo seu próprio peso, temos que a velocidade do pulso calculado na corrente pendurada seja

$$v = \sqrt{\frac{\mu \cdot y \cdot g}{\mu}} \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{y \cdot g}$$

em que y é a altura da corrente medida de baixo para cima.

Na figura 2C temos alunos formando ondas na corrente. Fica visível o pulso de onda no formato de um S deitado, devido ao impulso

gado para cima. Em cada quadro o pulso de onda está apontado por uma seta.

Conforme essa onda vai subindo, vai ficando com um formato menor devido à tensão na corrente, que é maior quanto mais alto. Outro aspecto importante é sobre a velocidade do pulso, que aumenta causando um movimento acelerado de baixo para cima. Esse movimento acelerado também pode ser explicado pelo aumento da tensão da corrente.

Figura 25: 2C: Onda na corrente



Fonte: O Autor

Nesse ponto os alunos já devem ter consciência do transporte de energia por uma onda, provinda do impulso dado por sua mão.

Na figura 3C temos a formação do pulso de onda na corda pendurada. Devido à maior densidade da corda, com menor maleabilidade, não se tem um efeito muito bom, mas se torna importante para os alunos terem essa comparação entre a corda e a corrente.

Figura 26: 3C: Pulso na corda



Fonte: O Autor

Considerações finais

Esse não é um roteiro experimental fechado e pronto. A cada vez que um professor criativo for utilizar esse tipo de prática, novas situações irão surgir, novos questionamentos e novas contribuições virão dos estudantes. Isso mesmo, os estudantes não são seres desprovidos de capacidade de criação. E quanto mais eles estiverem produzindo e criando, maior deve ser a satisfação do professor, pois esse é um sinal de que seu trabalho está frutificando.

Espero que esse material possa contribuir, um pouquinho que seja, nas aulas de algum professor. Que seja um pontinho de luz mostrando um caminho possível para aulas mais produtivas e divertidas. Que seja o estímulo para a criatividade, pois o simples acúmulo de conteúdo não é mais diferencial para um professor, diante de tantas fontes de pesquisas na internet e em cursos à distância.

Sendo assim, precisamos cada vez mais, como bons professores, sermos bons pesquisadores de experiências exitosas obtidas por outros profissionais, aplicando, aperfeiçoando e inovando em boas práticas de ensino.

REFERÊNCIAS DO PRODUTO

BARRETO, B.; XAVIER, C. **Física 3 – aula por aula –** Eletromagnetismo, Ondulatória, Física Moderna, 2ª ed. São Paulo: FTD, 2013.

BÔAS, Newton V.; DOCA, R. Helou; BISCUOLA, Gualter J. **Física 2** – Termologia, Ondulatória, Óptica, 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

FEYNMAN, Richard P. **The Feynman Lectures on Physics**, Volume I. Disponível em: < http://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_toc.html >. Acesso em 30 jan. 2018

GASPAR, A. **Compreendendo a Física 2** – Ondas, Óptica e Termodinâmica, 2ª ed. São Paulo: Ática, 2014.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física 2**, 1ª ed. São Paulo: Ática, 2014.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física** - Vol. 2 - Gravitação, Ondas e Termodinâmica, 10ª edição. LTC, 2016.

HETEM JUNIOR, Anibal; HETEM, Calvin G. **Fundamentos de Matemática – Física para Licenciatura: Ondulatória**, 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física 2** – Contexto e Aplicações, 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2014.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em Contextos 2** – Energia, calor, Imagem e Som, 1ª ed. São Paulo: FTD, 2010.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. DE T.; PENTEADO, P. C. M. **Física: Ciência e Tecnologia 2** – Termologia, Óptica, Ondas, 3ª ed. São Paulo: Moderna, 2013.

APÊNDICE B – Questionário de satisfação

**Escola Ensino Básico Prof. Carlos Zipperer Sobrinho
Prof. Luciano Haverroth
Questionário de desempenho**

Participante:

.....

Você participou de uma sequência de atividades experimentais relacionadas ao ensino de ondulatória, das quais servirão como base de dados para dissertação de tese de conclusão do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, realizado pelo Professor Luciano Haverroth, orientado pelo Professor Dr. Kahio Tibério Mazon, através da Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, promovido pela Sociedade Brasileira de Física - SBF.

Agora você está convidado(a) a participar de uma pesquisa para avaliar a validade dessas atividades para a efetivação do ensino/aprendizagem em Física.

1) De modo geral, as atividades ajudaram na compreensão dos conceitos estudados sobre ondulatória? Comente sua resposta:

2) Classifique as atividades, em ordem de importância para a compreensão dos conceitos estudados, atribuído 1 (um) para a que menos contribuiu, até 3 (três) para a que mais contribuiu.

- () Atividade A: **Velocidade das ondas na água**
- () Atividade B: **Velocidade e ondas estacionárias na corda**
- () Atividade C: **Pulso que sobe (corrente pendurada)**

3) Deixe aqui sua opinião que possa contribuir para melhorias nas atividades propostas: (Use o verso, se necessário)
