



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA

JOSÉ NILSON DO NASCIMENTO CUNHA

**UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DA VELOCIDADE
DO SOM NO ENSINO MÉDIO SOB O ENFOQUE NA
TEORIA VIGOTSKIANA**

FORTALEZA 2023

JOSÉ NILSON DO NASCIMENTO CUNHA

**UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DA
VELOCIDADE DO SOM NO ENSINO MÉDIO SOB
O ENFOQUE NA TEORIA VIGOTSKIANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Ensino de Física.

FORTALEZA 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C978a Cunha, José Nilson do Nascimento.
Uma análise experimental da velocidade do som no ensino médio sob o enfoque na teoria vigotskiana / José Nilson do Nascimento Cunha. – 2023.
79 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Fernando Wellysson de Alencar Sobreira.

1. Ensino de física. 2. Ondas mecânicas. 3. Física experimental. I. Título.

CDD 530.07

JOSÉ NILSON DO NASCIMENTO CUNHA

**UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DA VELOCIDADE DO SOM NO ENSINO
MÉDIO SOB O ENFOQUE NA TEORIA VIGOTSKIANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em: 10 / 08 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Wellysson de Alencar Sobreira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco de Assis Leandro Filho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A DEUS e toda minha família.

AGRADECIMENTOS

À minha família e em especial minha mãe que sempre esteve presente dando todo apoio e incentivo para que pudesse concluir este trabalho.

Aos amigos que conquistei durante o período das aulas do MNPEF e pelo compartilhamento de conhecimentos em sala de aula.

Ao meu orientador Dr. Fernando Wellysson de Alencar Sobreira pelas sugestões, observações e dedicação de tempo deste trabalho.

Aos professor Dr. Marcos Antônio Coordenador do MNPEF.

Ao meu amigo, Jardel Oliveira, que conquistei durante todo esse tempo na Universidade.

À UFC pelo apoio dado, cuja existência e organização, que possibilita o aperfeiçoamento de muitos profissionais.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES (Código de Financiamento 001).

“O ideal da educação não é aprender ao máximo, maximizar os resultados, mas é antes de tudo aprender a aprender, é aprender a se desenvolver e aprender a continuar a se desenvolver depois da escola”.

(PIAGET, 1977, p. 225)

RESUMO

A preocupação atual com a necessidade de conectar os saberes do cotidiano com os saberes técnicos discutido em sala de aula tem o objetivo principal de tornar o processo de ensino e aprendizagem numa prática significativa. Nessa perspectiva, é comum buscar as metodologias adequadas que levem em consideração as características próprias dos alunos, bem como aquelas capazes de conduzir, de maneira mais eficiente, ao desenvolvimento da capacidade dos alunos de lidar com conteúdos abstratos. Esse obstáculo, enfrentado por professores no processo de ensino, principalmente nos anos finais do ensino médio, tem sido uma das principais dificuldades para o ensino de Física. Além disso, a falta de motivação e a ausência de materiais adequados podem ser fatores que dificultam a prática docente. Nesse trabalho, propomos a utilização de uma sequência didática baseada pedagogicamente na teoria construtivista de Vygotsky e num experimento de tubos sonoros, para ser utilizada como ferramenta de transposição didática para o ensino de ondulatória. A pesquisa foi aplicada a alunos da terceira série do Ensino Médio da cidade de Maracanaú–CE. Os estudantes foram divididos em grupos com o objetivo de analisar suas observações e percepções dos conceitos apreendidos e a relação do experimento, construído por eles mesmos, com os conteúdos abordados em sala de aula. No primeiro momento foi aplicado um Quiz (pré-teste) acerca dos conteúdos básicos para a execução da prática experimental e, a seguir, foi aplicado um pós-teste com perguntas relacionadas à prática experimental. Uma análise dos resultados obtidos foi feita e é através da qual baseamos a nossa percepção sobre a utilidade desta prática ser potencialmente significativa.

Palavras-chave: ensino de física; ondas mecânicas; física experimental.

ABSTRACT

The current concern with the need to connect everyday knowledge with the technical knowledge discussed in the classroom has the main objective of making the teaching and learning process a meaningful practice. From this perspective, it is common to seek appropriate methodologies that take into account the students' characteristics, as well as those capable of leading, more efficiently, to the development of students' ability to deal with abstract content. This obstacle, faced by teachers in the teaching process, especially in the final years of high school, has been one of the main difficulties for teaching Physics. In addition, the lack of motivation and the absence of adequate materials can be factors that hinder teaching practice. In this work, we propose the use of a didactic sequence based pedagogically on Vygotsky's constructivist theory and on an experiment with sound tubes, to be used as a tool for didactic transposition for teaching waveforms. The research was applied to students of the third grade of a high school in the city of Maracanaú-CE. The students were divided into groups with the aim of analyzing their observations and perceptions of the concepts learned and the relationship between the experiment, built by themselves, and the content covered in the classroom. In the first moment, a Quiz (pre-test) was applied about the basic contents for the execution of the experimental practice and, next, a post-test with questions related to the experimental practice was applied. An analysis of the obtained results was made and in which we base our perception on the usefulness of this practice being potentially significant.

Keywords: physics teaching; mechanical waves; experimental physics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ilustração da propagação, com velocidade \vec{v} , de ondas (a) transversais numa corda esticada e (b) longitudinais de compressão e rarefação de um gás.....	35
Figura 2 Movimento das camadas de ar no modelo de um tubo cilíndrico	38
Figura 3 Tubo aberto fechado em uma das extremidades. Está indicada a amplitude de oscilação da onda de deslocamento do som dentro do tubo.	44
Figura 4 Tubo aberto nas duas extremidades. Está indicada a amplitude de oscilação da onda de deslocamento do som dentro do tubo.....	46
Figura 5 Representação de ondas estacionárias em tubos sonoros: com duas extremidades abertas e uma fechada	49
Figura 6 Representação de uma onda estacionária, mostrando os nós e os ventres.	50
Figura 7 Representação do equipamento da figura 08 mostrando o êmbolo no seu interior.	51
Figura 8 Fotografia do equipamento utilizado em nosso laboratório para a determinação da velocidade do som no ar; na extremidade aberta está posicionado um celular como fonte sonora	51
Figura 9 Posições do êmbolo onde ocorrem ressonâncias.	52
Figura 10 Materiais de baixo custo utilizados para a montagem do experimento de tubos sonoros.	53
Figura 11 Aplicação do produto educacional (parte 1). Aquisição dos dados experimentais.	57
Figura 12 Aplicação do produto educacional (parte 2). Obtenção da velocidade de propagação do som a partir dos dados experimentais obtidos.	57
Figura 13 Respostas dos alunos à pergunta 1 do pré-teste.	61
Figura 14 Respostas dos alunos à pergunta 2 do pré-teste.	62
Figura 15 Respostas dos alunos à pergunta 3 do pré-teste.	63
Figura 16 Respostas dos alunos à pergunta 4 do pré-teste.	64
Figura 17 Respostas dos alunos à pergunta 5 do pré-teste.	64
Figura 18 Respostas dos alunos à pergunta 6 do pré-teste.	65
Figura 19 Respostas dos alunos à pergunta 7 do pré-teste.	66
Figura 20 Resultados da equipe 1	67
Figura 21 Resultados da equipe 2.	67
Figura 22 Resultados da equipe 3	67

Figura 23 Resultados da equipe 4	68
Figura 24 Respostas dos alunos à pergunta 1 do pós-teste.	70
Figura 25 Respostas dos alunos à pergunta 2 do pós-teste.....	71
Figura 26 Respostas dos alunos à pergunta 3 do pós-teste.	72
Figura 27 Respostas dos alunos à pergunta 4 do pós-teste.....	72
Figura 28 Respostas dos alunos à pergunta 5 do pós-teste.....	73
Figura 29 Respostas dos alunos à pergunta 6 do pós-teste.....	73
Figura 30 Respostas dos alunos à pergunta 7 do pós-teste.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Velocidade do som em diferentes materiais de acordo com a equação 15....	41
Tabela 2 Etapas do desenvolvimento da pesquisa	47
Tabela 3 Elaboração do produto educacional.....	55
Tabela 4 Dados experimentais obtidos para o comprimento da coluna de ar h , em cm, em cada um dos harmônicos como função da frequência sonora.....	56
Tabela 5 Quiz aplicado na plataforma no <i>google forms</i> (pré-teste) tratando das propriedades das ondas sonoras.....	60
Tabela 6 Quiz aplicado na plataforma no <i>google forms</i> (pós-teste) tratando da aplicação do produto educacional.....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo geral	19
2.2 Objetivos específicos	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	20
3.1 O Ensino de Física	20
3.2 As Concepções Científicas	23
3.3 A Proposta Construtivista	24
3.4 Enfoque na Teoria Vygotskyana	25
3.4.1 <i>Viabilidade da realização da atividade experimental</i>	26
3.4.2 <i>Escolha do tipo de atividade</i>	27
3.4.3 <i>Seleção dos conteúdos a serem apresentados</i>	28
3.4.4 <i>Compatibilização de conteúdos com o tipo de atividade escolhida</i>	28
4 REVISÃO DE LITERATURA	29
4.1 Ondulatória no ensino de Física	29
4.2 Uso de recursos didáticos	31
5 ONDAS SONORAS	34
5.1 Ondas em meios elásticos	34
5.2 A equação de onda	36
5.2.1 <i>Relação densidade-pressão</i>	36
5.2.2 <i>Relação densidade-deslocamento</i>	38
5.2.3 <i>Relação pressão-deslocamento</i>	39
5.2.4 <i>A velocidade do som</i>	40
5.3 Propriedades das ondas sonoras	41
5.3.1 <i>Intensidade sonora</i>	42

<i>5.3.2 A escala decibel</i>	43
5.4 Tubos sonoros	44
6 METODOLOGIA E PRODUTO EDUCACIONAL	47
7 O PRODUTO EDUCACIONAL	49
7.1 Montagem do produto educacional	52
7.2 Desenvolvimento e pesquisa aplicada do produto educacional	54
7.3 Procedimentos	55
8 RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
8.1 Análise do pré-teste	59
8.2 Resultados obtidos pelos alunos	66
8.3 Análise do pós-teste	69
9 CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	79

1 INTRODUÇÃO

O Ensino de Ciências da Natureza passa por algumas problemáticas caracterizadas pela falta de recursos, que vão de materiais para o laboratório até à própria estrutura física de alguns laboratórios e recursos didáticos. Alguns professores da competência de Física não são formados na área específica e/ou outros que administram os ambientes de laboratório não têm formação na área. Costuma ocorrer a situação em que o conteúdo que é ministrado nas escolas não esteja diretamente ligado ao cotidiano dos estudantes, no qual suas relações entre com a disciplina de Física têm diferentes abordagens nas salas de aula e, com isso, os alunos não despertam o interesse pela Física, e pelas ciências em geral.

A reponsabilidade do ensino finda com um proposito aos estudantes: desenvolver o seu conhecimento de uma maneira geral a partir de sua vivência e que contribua para o entendimento da ciência e da tecnologia na educação básica (BRASIL, 2018a; BRASIL 2018b).

Ao, naturalmente, apresentar dificuldade, são necessárias mudanças contínuas nas metodologias de ensino de forma a otimizar o ensino regular. Transformações que tornam o papel do docente muito importante, como mediador do processo ensino aprendizagem são necessárias e precisam de apoio das escolas e comunidade para terem efeito sobre o bom desenvolvimento dos estudantes.

De acordo com Valadares, os professores devem induzir os alunos a valorizar seus próprios conhecimentos:

Numa perspectiva psicológica, não encara a mente do aluno como uma tábua rasa, pelo contrário, valoriza os seus saberes mais ou menos espontaneamente adquiridos, ou, se preferir, os modelos mentais mais ou menos confusos com que os alunos interpretam, à sua maneira, a realidade que os cerca. Quer o aluno que aprende quer os objectos com que aprende desempenham um papel decisivo na construção do seu conhecimento. As sensações provenientes dos acontecimentos, a experiência de vida do aluno e as mais diversas componentes do seu cérebro (não só a componente neocortical, mas também as componentes que têm que ver com a parte afectiva) interferem na sua aprendizagem. É por isso que esta é, como dissemos atrás, um acto eminentemente individual e idiossincrático, ainda que profundamente submetido influenciado pela interação social a que o aluno é (Matos; Valadares, 2001, p. 228).

O ensino de Física apresenta obstáculos epistemológicos, dentre os quais podemos destacar a aprendizagem restrita, o ensino extremamente focado no professor com aulas

expositivas, a ausência de experimentação, a falta de relação do conteúdo discutido em sala de aula com o cotidiano dos alunos e os livros didáticos que enfatizam a transmissão de informações memorizáveis e não a construção do conhecimento (MARCONDES et al., 2007).

O professor precisa ter conhecimento científico e tecnológico para explanar a aula. Porém, isso não é suficiente para que o mesmo tenha um bom desempenho na atividade docente. Na maioria dos casos, a Física é apresentada de forma mecanizada, com usos de regras, fórmulas, gráficos, tabelas e perguntas sem contextualização com respostas prontas. Essas são algumas das razões para que o aluno desenvolva uma apatia com a respectiva competência (DELIZOICOV, 2009).

As atividades experimentais e a utilização de ferramentas tecnológicas podem proporcionar uma alternativa para combater o aumento da apatia com a Física e contribuir com a melhoria da aprendizagem. Logo, o uso de experimentos em sala de aula é uma importante ferramenta que pode auxiliar na aprendizagem dos conteúdos apresentados na área da Ciências da Natureza, em especial a Física (SANTOS, 2013).

A utilização de experimentos de baixo custo e/ou de fácil acesso se revelam como uma ferramenta para que os professores tenham mais recursos educacionais para o auxiliá-los na apresentação de conceitos da Física (PIZETA, 2017) aos alunos e, mais especificamente, para os aspectos conceituais dos conteúdos de ondulatória (GUEDES, 2015).

A problemática vista no processo de ensino-aprendizagem da competência de Física nos níveis da educação passa por investigações e pesquisas, que buscam promover orientações para uma melhoria na qualidade do ensino da mesma. Nessa perspectiva, vários pesquisadores (MÉHEUT; PSILLOS 2004; MÉHEUT, 2015) vêm propondo em materiais como, livros, revistas e artigos, no qual vem sendo mostrado aos professores, buscando um maior interesse dos alunos, fascínio e melhor compreensão com o mundo físico que está inserido ao seu redor.

Para isso, (PERUZZO, 2012; VALADARES, 2012; LENZ; FLORCZAK 2012) e, ainda, os materiais como a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), o Caderno Brasileiro de Ensino de Física e Ensaio e Física na Escola trazem inovações no que se diz respeito ao ensino, com diversos trabalhos com materiais de fácil acesso, manuseio e baixo custo, assim como experimentos que não necessitam de um ambiente isolado de laboratório para serem realizados, ou seja, podem ser trabalhados em outros ambientes, extra laboratoriais (e.g. na própria sala de aula). De certa forma, esbarramos em várias dificuldades, onde constam a falta de materiais, equipamentos, incentivo, tempo necessário para o professor testar os experimentos

e até mesmo a falta de uma formação adequada dos docentes para a realização desses procedimentos.

Algumas dessas pesquisas apresentam uma descrição de como fazer a montagem dos experimentos, mas, muitas vezes, não mostram como abordá-los em sala de aula, além daquilo que ocorre durante a realização dos experimentos e o porquê destas ocorrências. Também notamos que não é costume apresentar todas as possibilidades de ocorrências e as possíveis falhas durante a realização de tais experimentos, o que pode contribuir para uma falsa impressão de que a aplicação das metodologias ocorre sem maiores dificuldades como a necessidade de motivar os estudantes a participarem da mesma.

De acordo com esse contexto, propomos, neste trabalho, relatar o desenho para a “avaliação interna” de uma (TLS) *Teaching Learning Sequence* (MÉHEUT; PSILLOS, 2004) ou sequência de ensino-aprendizagem, ou seja, atividades experimentais que deixam o melhor desejo de aprender, tendo forte impacto no processo de ensino aprendizagem da Física em ambientes reais de sala de aula (COLLECTIVE, 2003; MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

O projeto apresentado neste trabalho foi desenvolvido em uma escola particular no município de Maracanaú -CE. No primeiro momento foi aplicado um *quiz* para avaliar os conhecimentos prévios dos alunos acerca dos conceitos de Ondas Mecânicas. Esse questionário foi desenvolvido na plataforma *google forms*. No segundo momento, os estudantes tiveram aulas expositivas sobre o tema da pesquisa, e por último, a apresentação do produto educacional e a aplicação da atividade experimental aqui proposta.

Abordamos neste trabalho como as atividades experimentais podem ser utilizadas como um dos passos iniciais para que o aluno entenda a Física de forma prazerosa e não como algo intangível.

Serão mostrados também resultados da pesquisa, nos quais foram realizados experimentos em que os alunos do Ensino Médio puderam participar da montagem e das realizações de experimentos Ondulatória, em destaque as Ondas sonoras, utilizando, para isso, materiais de baixo custo.

A dissertação foi dividida em oito capítulos da seguinte forma: Neste capítulo 1, de introdução, foi abordada uma prévia do trabalho de pesquisa. No capítulo 2, serão apresentados os objetivos: geral e específicos. No capítulo 3, será abordada a revisão de literatura do ponto de vista pedagógico visando dar fundamentação à metodologia aplicada. No capítulo 4, será realizada a fundamentação teórica do ponto de vista das teorias físicas utilizadas neste trabalho. No capítulo 5, serão apresentados a metodologia de aplicação e no capítulo 6 o produto

educacional como um todo. No capítulo 7, serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação do produto educacional bem como a discussão dos mesmos. Por fim, no capítulo 8 tem-se a conclusão do trabalho seguido das referências utilizadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo geral contribuir para o Ensino da Física, proporcionando a vivência dos fenômenos físicos, uma maneira de inovar a forma de conduzir os experimentos, utilizando o desenvolvimento e a validação de uma TLS, levando os alunos à formulação de hipóteses durante a realização de atividades experimentais e, a partir delas, a elaboração de teorias, relacionando os conceitos físicos observados no cotidiano com seus respectivos princípios.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos este trabalho visa:

- Orientar os alunos na realização de práticas experimentais, desde a produção dos materiais utilizados até a execução dos procedimentos;
- Orientar os alunos no processo de formulação e verificação de hipóteses característicos do processo experimental;
- Propor a utilização de tubos sonoros como um elemento de ensino e aprendizagem de ondulatória no Ensino de Física;
- Produzir condições necessárias para que os alunos possam desenvolver habilidades como trabalhar em grupo, tornando-os elementos ativos no processo de ensino e aprendizagem.

3 REFERENCIAL TEÓRICO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Neste capítulo serão apresentadas as ideias gerais que nortearam a elaboração do produto educacional proposto nesse trabalho. Mais do que ter como objetivo apenas a transmissão do conteúdo técnico, observou-se a necessidade de se basear numa metodologia capaz de explorar as diversas potencialidades dos estudantes, buscando conduzir uma formação científica crítica.

3.1 O ensino de Física

A escola atual oferece conhecimento através de uma tentativa de impor o saber e o cobrar, partindo do pressuposto que os alunos precisam provar aquilo que dominam. A estes não é, comumente, dada a liberdade para buscarem novos caminhos para adquirir conhecimentos e desenvolver de maneira crítica o seu aprendizado. Segundo Freire (1982), a prática do ensinar e aprender era designado apenas aos considerados educadores autoritários, uma vez que “ensina quem se supõe sabendo e aprende quem nada sabe”. Brandão (1981) é ainda mais claro, quando afirma que “(...) ensinar não é enfiar o saber-de-quem-sabe no suposto vazio de-quem-não-sabe”. Portanto, o ato de aprender não é permitir que se coloque no suposto vazio “de-quem-não sabe” o conhecimento, o “saber-de-quem-sabe”.

Uma grande parte dos professores utilizam metodologias que não são atualizadas através dos tempos, com isso as gerações passam e as metodologias continuam da mesma forma, sem acompanhar os avanços e as mudanças socioculturais que ocorrem. Conforme Gomes & Bellini, (2009):

A prática didático-pedagógica do professor é guiada, na maior parte das vezes, inconscientemente, de acordo com a sua concepção de conhecimento. Um professor empirista dissocia a teoria da prática. “Faz experimentos ditos cruciais” como se estes fossem a solução das “concepções errôneas” dos alunos. Repete até que os alunos memorizem, pois acreditam que estes sejam “folhas em branco” ansiosas por serem preenchidas. Transmite um conhecimento pronto e acabado. Acredita ser capaz de ensinar qualquer coisa a qualquer pessoa aplicando os estímulos e reforços adequados. (GOMES; BELLINI 2009).

Além dos empiristas, para Gomes & Bellini (2009), há professores inatistas, ou seja, que “culpam unicamente o aluno pelo seu fracasso escolar”, afirmando que a Física é uma competência para poucos. Há também professores que adotam uma metodologia construtivista, ou seja, realizam uma investigação com o objetivo de partirem dos conhecimentos que o aluno apresenta de forma introdutória, com o intuito de buscar uma melhor forma para atingir uma aprendizagem significativa, estimulando o aluno a despertar a curiosidade, a descoberta e a resolução de problemas, utilizando, para isso, vários recursos e metodologias de ensino. Segundo Moreira (1997):

Aprendizagem significativa é o processo através do qual uma nova informação (um novo conhecimento) se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-litera) à estrutura cognitiva do aprendiz. É no curso da aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito.

Atualmente, os professores têm buscado melhorias nas suas práticas pedagógicas, adotando novas metodologias do conhecimento adequadas ao ensino e à aprendizagem de Física, preocupados com a compreensão do processo científico e também como este pode contribuir para a formação pessoal e social dos alunos. Ao destacar o ensino das ciências, na perspectiva de Ensino Por Pesquisa, Vasconcelos, Praia & Almeida (2003) afirmam que:

Essa perspectiva visa não só a compreensão do corpo de conhecimentos e processos científicos, mas pretende igualmente contribuir para o desenvolvimento pessoal e social dos jovens (VASCONCELOS; PRAIA; ALMEIDA, 2013 apud CACHAPUZ & cols., 2000). O ensino por pesquisa faz apelo a conteúdos inter e transdisciplinares, cultural e educacionalmente relevantes. Nesse sentido, um dos objetivos essenciais é a compreensão das relações C-T-S-A (Ciência-Tecnologia-SociedadeAmbiente), procurando garantir que as aprendizagens se tornem úteis aos alunos numa perspectiva de ação (VASCONCELOS; PRAIA; ALMEIDA, 2013 apud CANAVARRO, 1999; PRAIA, 1999).

Para ter uma aprendizagem significativa de fato, é necessário que o professor esteja capacitado para abordar uma prática compatível com esta proposta. O Ensino das Ciências se volta para à área da Psicologia Educacional para buscar uma melhor compreensão de como

acontece o processo de ensino e aprendizagem dos alunos. E para isso recorre às diversas teorias da aprendizagem que vem ao longo dos tempos se modificando e evoluindo.

No entanto, para Ausubel *et. al.* (1980), existem quatro tipos básicos de aprendizagem: a recepção mecânica; a recepção significativa; a descoberta mecânica e a descoberta significativa.

A Aprendizagem significativa só ocorre quando há interatividade nas informações (*subsumer* ou *subsunção* como costuma ser traduzido para o português) a uma já existente, a partir da qual o conhecimento prévio do sujeito é valorizado, para ele adquirir uma nova aprendizagem.

Tratando agora do ensino por Mudanças conceituais, que valoriza as atividades cognitivas do sujeito e a importância do seu conhecimento prévio, o professor torna-se um mediador entre o sujeito e as novas informações, onde ele deve ter um profundo conhecimento sobre os fundamentos essenciais do Ensino por Pesquisa, pré-disposição e condições suficientes para socializar tal conhecimento. Segundo Vasconcelos, Praia & Almeida (2003), a metodologia do Ensino por Pesquisa está

Ligada a conteúdos do cotidiano e interesses pessoais do aluno, essa perspectiva implica uma mudança de atitudes, de processos e de metodologias, que cabe ao professor promover. Ao realçar, de forma explícita e fulcral o papel do aluno na construção do seu conhecimento, essa perspectiva apoia-se nos postulados do construtivismo e aposta no desenvolvimento pessoal e social dos jovens. Tal pretensão requer alterações profundas ao nível do processo de ensino-aprendizagem.

O professor quando desperta no aluno o desejo pela ciência e o gosto pelos estudos, o aluno terá a iniciativa de buscar o seu próprio conhecimento, descobrindo que dentro de si está o conhecimento. Ele mesmo será responsável em buscar os seus conhecimentos e experiências que existem e estão à sua espera, resumindo-se em saber despertar, conscientizar e confiar.

Desta forma, se faz necessário entender que o verdadeiro sentido da palavra ‘escola’ como sendo um lugar de prazer, alegria e satisfação intelectual. É preciso repensar a formação do professor, onde deve estar sempre em buscas de novas metodologias, refletindo cada vez mais sobre a sua função, aprimorando o gosto pelo ensinar, não se limitando apenas ao

conhecimento teórico e ao conteúdo, mas sim em uma prática que alimenta o melhor aprendizado e cada vez mais ter o poder de transformar sua prática pedagógica em sala de aula.

3.2 As Concepções Científicas

O antagonismo entre concepções espontâneas, informais que dariam origem à ciência do senso comum, e concepções científicas, oriundas no ensino escolar, se assemelham muito com as relações do pensamento infantil que foi estabelecida por Piaget (estrutura de pensamento espontâneo). Para Piaget,

O desenvolvimento intelectual da criança se constitui do processo de regressão gradual das qualidades e propriedades originais do pensamento infantil pelo pensamento mais poderoso e mais forte dos adultos. (VIGOTSKI, 2001, p.256)

Vygotsky sugere que, se dermos continuidade ao pensamento de Piaget, vamos fatalmente chegar à conclusão de que o antagonismo é a característica única das relações entre a aprendizagem e o desenvolvimento.

Desde então, houve início de novas pesquisas sobre mudança conceitual; nome genérico de um movimento que revolucionou grande parte dos pesquisadores em ensino. Nessas pesquisas, procurou-se investigar as pré-concepções científicas, de modo geral, contextualmente diferentes das quais os alunos têm fora da escola. Além disso, foram testadas algumas estratégias pedagógicas capazes de promover a mudança dessas concepções – foi a mais longa e exaustiva fase de pesquisas em ensino de Ciências (em geral, a Física).

Os estudos realizados sob essa perspectiva, desenvolvidos em diferentes partes do mundo, revelaram um mesmo padrão de resultado: a cada conceito investigado, as ideias alternativas de crianças e adolescentes são pessoais, fortemente influenciadas pelo contexto do problema, bastante estáveis e extremamente resistente à mudança, de tal modo que é possível encontrá-las até mesmo entre estudantes universitários.

3.3 A Proposta Construtivista

À medida que conhecemos as ideias alternativas dos alunos, podemos também sugerir propostas para modificar ou eliminar essas ideias, inspiradoras de início nos conceitos piagetianos de conflitos cognitivo e equilíbrio.

Neste trabalho, propomos a utilização de experimentos como metodologia para transmitir o conhecimento aos estudantes em tempo que se busca fomentar nestes o desenvolvimento do raciocínio analítico e crítico. Propunha-se atividades experimentais de baixo custo cujo objetivo seria incentivar os estudantes a desenvolverem ideias alternativas – os alunos previam um resultado e observavam outro, o que desencadearia o conflito cognitivo que os levaria à mudança conceitual por meio do processo de equilíbrio.

A semelhança desse procedimento com alguns episódios da história da ciência (resultados experimentais inesperados ou contraditórios em relação às hipóteses iniciais levaram a “conflitos e equilíbrios”) deu origem a propostas pedagógicas análogas, mas de fundamentação epistemológica nas quais se envolveram, em geral, pesquisadores não piagetianos.

Apesar de diferentes na fundamentação, a realização dessas atividades seguia praticamente os mesmos procedimentos, o que acabou por conduzir os pesquisadores e professores a uma concepção construtivista da aprendizagem: desafiando uma atividade planejada, no qual os alunos construíam o próprio conhecimento.

O construtivismo não tem um conceito encerrado, mas pode ser considerado como uma teoria que engloba as práticas didáticas que apresentam as seguintes características:

- i. Têm como ponto de partida a detecção (ou o conhecimento já pré-determinado) das concepções dos alunos em relação aos conteúdos a serem estudados;
- ii. Os alunos constroem ativamente o seu conhecimento no desenvolvimento da atividade, que são planejadas para esse fim;
- iii. O professor orienta a ação dos alunos, estimula a interação entre eles, apresenta desafios, dá pistas, mas nunca ensina ou apresenta conteúdos prontos ou resolve problemas.

Podemos ressaltar que todos os conceitos apresentados nas disciplinas científicas no nível de ensino básico já estão prontos, definidos verbalmente e matematicamente. Podemos exemplificar essas ideias sugerindo um procedimento que, a nosso ver, possibilitaria a

construção, pelos alunos, de um dos conceitos mais elementares da Física, a velocidade escalar média.

Mesmo que os estudantes percebam que o conceito de velocidade escalar média deve ser expresso pela razão entre a distância percorrida (d) e o intervalo de tempo (t) gasto para percorrer essa distância, essa razão pode ser representada de dois modos: d/t ou t/d .

Imaginar que a primeira expressão é a correta porque seria sempre “espontaneamente” construída pelos alunos é um óbvio equívoco epistemológico: é bem provável que os alunos fizeram essa mesma escolha por razões culturais – a escolha da razão d/t , para a expressão do conceito de velocidade escalar média, já foi feita há séculos e está impregnada em nossa cultura.

Conseqüentemente, todos os alunos são capazes de construir conceitos: o que eles precisam saber já está pronto de algum modo ou em algum lugar da sua mente, caberia ao professor auxiliar na busca para completar a sua construção. Vale ressaltar, nesse exemplo, que é necessário que o estudante consiga perceber qual das expressões tem a maior chance de revelar, de maneira simples, características do movimento e saber em qual(is) situação(ões) cada expressão pode ser aplicada.

3.4 Enfoque na Teoria Vygotskyana

Há necessidade de explanar outra concepção na qual se enfatiza a necessidade de orientação nas atividades experimentais, proposta pelo filósofo e epistemológico francês Gaston Bachelard (1884-1962). Em seu livro *A formação do espírito científico*, ele critica o efeito “pirotécnico” de algumas experiências de Química apresentadas na França nas décadas iniciais do século XX. Bachelard destaca a importância de o professor fundamentar essas experiências, pois, ao contrário, elas seriam lembradas apenas por esses efeitos, que fascinavam os adolescentes. Em resumo,

No ensino elementar, as experiências muito marcantes, cheias de imagens, são falsos centros de interesse. É indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. Quando voltar à experiência, estará mais preparado para distinguir os aspectos orgânicos do fenômeno. A experiência é feita para ilustrar um teorema. (BACHELARD, 1996, p. 50.)

De acordo com a teoria de Vygotsky, considera-se pedagogicamente útil toda atividade experimental – a simples realização de medidas, construção de gráficos, determinação de constantes físicas, visualização qualitativa de determinadas propriedades, desde que, por meio dela, o professor possa promover interações sociais que possam explorar de forma adequada os conteúdos previstos no currículo em sua programação.

Nesse sentido, apresentamos a seguir quatro indicações que podem orientar a realização de atividades experimentais em sala de aula e no laboratório:

- i. Sua viabilidade;
- ii. A escolha do tipo de atividade mais adequada para sua realização;
- iii. A seleção dos conteúdos a serem apresentados por meio delas;
- iv. A compatibilização de conteúdos com o tipo de atividade escolhida.

3.4.1 Viabilidade da realização da atividade experimental

Todas essas condições exigem que o professor teste previamente a atividade e, para isso, é indispensável que procure realizá-la nas mesmas condições em que pretende aplicá-la. Não há nada mais frustrante para o estudante, e principalmente para o professor, o insucesso na realização de um experimento por causa da deficiência de material, falta de tempo ou simplesmente por se tratar de uma atividade mal elaborada, que não funciona.

Para seguir esta orientação o professor precisa, antes de realizar a prática verificar questões como: disponibilidade de espaço adequado para todos os estudantes da turma com a qual deseja realizar a prática; disponibilidade de equipamentos e/ou instrumentos em número suficiente para os estudantes, em caso de práticas a serem realizadas em equipes ou individualmente; funcionamento dos instrumentos que serão utilizados; disponibilidade de tempo suficiente para a aplicação da prática experimental.

3.4.2 Escolha do tipo de atividade

A escolha do tipo de atividade depende, principalmente, do material necessário para sua apresentação, montagem ou construção, e do tempo disponível para essa tarefa. Em síntese, podemos considerar três tipos básicos de atividades experimentais que podem ser feitas em sala de aula ou no laboratório:

- i. Demonstração experimental realizada pelo professor ou grupo de alunos;
- ii. Atividade experimental realizada em grupos de alunos, por toda classe;
- iii. Atividade ou projeto experimental extraclasse realizada por grupos de alunos.

As *demonstrações experimentais* são adequadas quando se utilizam recursos de alto custo, de difícil montagem ou de dimensões relativamente grandes, e quando possível fazê-las em tempo suficientemente pequeno em relação à duração da aula. Assim haverá tempo suficiente para interações sociais proveitosas em relação ao que foi observado.

As *atividades experimentais realizadas em grupos de alunos* são indicadas quando se utilizam equipamentos simples, que podem ser operados com alguma independência pelos próprios alunos, durante um tempo compatível com a grade curricular.

Atividades experimentais de longa duração ou de projetos experimentais mais elaborados podem ser realizadas como atividades ou projetos extraclasse. Faz-se necessário a orientação e acompanhamento do professor para sua realização desde o início. Nesse tipo de abordagem é necessário elaborar um projeto no qual estão definidos os objetivos específicos e um cronograma de atividades adequado ao tempo disponível aos estudantes.

3.4.3 Seleção dos conteúdos a serem apresentados

Os conteúdos, de modo geral, apresentam maneiras diferentes de serem abordados. Logo um conteúdo apresentado que possa ter relevância de forma experimental, deixa, de forma curiosa, o aluno com o desejo de aprender, facilitando ainda mais a abordagem do mesmo. Isso

torna o professor uma ferramenta fundamental na facilitação e no acompanhamento do aprendizado.

Para a seleção dos conteúdos o ideal é buscar aqueles cujos experimentos sejam de fácil visualização do fenômeno e que necessite de poucos cálculos matemáticos para conseguir relacionar os conceitos apresentados. É importante lembrar que ao utilizar essas metodologias estamos, de maneira geral, buscando cativar aqueles estudantes que apresentam algumas dificuldades com a disciplina ou mesmo certo grau de desinteresse pela mesma.

3.4.4 Compatibilização de conteúdos com o tipo de atividade escolhida

Os conteúdos de modo geral devem associar um formato geral de teoria e atividade prática. Portanto, quando há uma determinada atividade que seja compatível com o conteúdo ministrado pelo professor, tem-se uma melhor adaptação e aprendizagem, facilitando o trabalho do professor como um todo e do processo de aprendizagem por parte do aluno.

Nessa compatibilização é necessário ter em mente qual o grau de maturidade dos alunos, tanto do ponto de vista do conhecimento dos conceitos da disciplina como do ponto de vista da interação social. Práticas mais longas precisam ser realizadas em turmas que já tem o costume de realizar práticas experimentais, uma vez que exigem maior poder de concentração. As práticas mais curtas são indicadas para turmas que não tiveram ou tiveram pouco contato com as práticas experimentais.

4 REVISÃO DE LITERATURA

O objetivo deste capítulo é retratar analiticamente, por meio de uma revisão bibliográfica das pesquisas em ensino de ciências e de física, como os temas sobre ondas sonoras, som e acústica têm sido abordados e quais são as propostas para o ensino e a aprendizagem desses conceitos, em particular aquelas que tratam da construção de modelos mentais destes conceitos pelos alunos.

Ao ingressar no mestrado profissional, meu objetivo principal era desenvolver material de instrução como roteiros de experimentos em ondas e acústica para o Ensino Médio.

Há 16 anos atuando na Educação, percebi que era o momento de refletir um pouco mais a respeito da metodologia que uso na sala de aula. Na infância tinha verdadeira paixão em utilizar objetos e fazer montagens experimentais. Poucas foram as oportunidades de realizar experimentos, discutir fenômenos e trabalhar com projetos durante minha formação básica, o que me levou a dedicar, paralelamente ao período das aulas, a este tipo de atividade, com ajuda de outras pessoas.

Gosto de realizar atividades experimentais com o uso de equipamentos de baixo custo e mesmo outros nem tão baratos, mas que podem ser encontrados facilmente nas escolas, como, por exemplo: caixa de som, projetor de multimídia etc.

4.1 Ondulatória no ensino de Física

Este trabalho propõe ao aluno do ensino médio que ele seja capaz de:

Identificar objetos, sistemas e fenômenos que produzem sons para reconhecer as características que os diferenciam; associar diferentes características de sons a grandezas físicas (como frequência, intensidade etc.) para explicar, reproduzir, avaliar ou controlar a emissão de sons por instrumentos musicais ou outros sistemas semelhantes; conhecer o funcionamento da audição humana para monitorar limites de conforto, deficiências auditivas ou poluição sonora. (BRASIL, 2002, p. 75).

O ensino da Física teve uma maior impulsionamento e importância em meados da década de 1960, no qual a influência foi gerada pela “corrida espacial” para um melhor desenvolvimento científico e tecnológico. Esse desenvolvimento desencadeou a geração de novas carreiras técnicas e produziu a necessidade pela busca de conhecimento das ciências físicas que pudesse auxiliar na compreensão da vida e do espaço atual em que vivemos (ROXO, 2019).

Além da inserção de tecnologias, uma histórica demanda no ensino de Física, é a inserção de experimentos como prática pedagógica, visto que a Física é essencialmente uma ciência teórica-experimental. Pode-se afirmar que a experimentação é um dos métodos mais fundamentais da Física, pois possibilita a análise do fenômeno real, permite a repetição e mudança das condições do experimento. No entanto, a maioria das escolas não possuem laboratórios (ROXO, 2019)

A temática de ondas e acústica é de grande importância para a formação do aluno (NUNES, 2019), no qual a acústica, é vista às pressas, somente como etapa obrigatória do cumprimento do programa de ensino, ou seja, são fracamente explorados, principalmente devido ao pouco tempo disponível durante o ano letivo e da carga horária reduzida para as aulas de Física. No Ensino Médio do Estado do Ceará, para citar como exemplo, são duas aulas semanais de Física nas três séries do ensino regular, e em alguns locais de ensino, têm apenas uma aula por respectiva série.

Já em escolas particulares, com uma média de três a quatro aulas semanais, a ênfase em resolução de exercícios com a finalidade de cumprir o programa, visando os resultados dos alunos nos principais vestibulares, torna a aplicação de atividades experimentais no período regular de aulas uma tarefa quase impossível.

Dentro da perspectiva proposta do ensino e da carga horária designada de modo geral, a pesquisa foi elaborada. Foi criado um produto educacional tendo como público-alvo alunos do ensino médio, com objetivo de abordar o ensino de física, analisando dados experimentais, obstáculos epistemológicos na aprendizagem. Uma forma de melhorar a possibilidade do ensino de ondulatória, em especial a acústica, possibilitando um recurso didático que beneficiará o conhecimento adquirido pelo aluno e a promoção da aprendizagem significativa.

As atividades práticas e contextualizadas têm uma relevância no ensino de acústica, no fato de que estas possibilitam ao aluno vivenciar os fenômenos sonoros de uma maneira concreta e não apenas teórica ou virtual, mostrando de forma experimental o conceito a ser ensinado.

Além da prática experimental, alguns trabalhos lidos mostraram a utilização de atividades diferenciadas para o ensino de ondas sonoras, no qual são classificados como propostas didáticas que tratam de atividades demonstrativas ou aulas expositivas sobre som, com exposição de materiais, em alguns casos até instrumentos musicais e uso de recursos audiovisuais, sem que haja a interação direta do aluno com os fenômenos sonoros, limitando a

mobilização de sua estrutura cognitiva para a aprendizagem de som, mas que praticamente não tem sido explorada em sala de aula.

Com a aplicação do produto educacional, podemos perceber que há alunos com conhecimento bem satisfatório do conteúdo, onde definem a relação entre as grandezas relacionadas ao estudo proposto, como frequência, comprimento de onda e velocidade de maneira coerente.

Os resultados obtidos nesta revisão de literatura visam uma melhoria nas metodologias dos professores aplicadas em sala de aula, mostrando a vivência que os alunos possuem em ver os conceitos abstratos sobre ondas sonoras, som e acústica motivando a preparação de aulas contextualizadas, interativas e experimentais, com materiais concretos de baixo custo que contribuam para a aprendizagem desses conceitos.

Para fazermos esta revisão da literatura, a sistemática usada foi a busca de artigos e dissertações voltadas para pesquisas em ensino de ciências que apresentam a importância e a contextualização do ensino de física (MELO, 2019) (ROXO, 2019), (NUNES, 2019) bem como livros texto reconhecidos pela comunidade e que são comumente utilizados como referência bibliográfica para tratar do tema sobre ondas sonoras, som e acústica (MOYSES) e (RESNICK).

Esta busca teve idealização graças aos artigos de pesquisa em ensino nos periódicos e bancos de teses na literatura. Todos os trabalhos analisados tinham como objetivo geral o ensino de ondas mecânicas.

Os trabalhos encontrados foram lidos e analisados de acordo com objetivos propostos na pesquisa, a metodologia utilizada, a abordagem dada ao tema de ondas sonoras, som e acústica, a coerência com os resultados obtidos em outras pesquisas e a aplicabilidade dos resultados da pesquisa em sala de aula.

4.2 Uso de recursos didáticos

Para a formação do aluno, existem conteúdos, além da Física, necessários para a compreensão dos fenômenos corriqueiros no seu cotidiano, os alunos devem ter competências e habilidades para a utilização das tecnologias disponíveis na atualidade, de um modo geral, ou seja, instrumentos que fazem parte do seu dia a dia. Sobre um processo de ensino e aprendizagem que contemple estas exigências, os PCN+ destacam:

implica em trabalhar tanto a natureza ondulatória comum ao som e à luz, quanto reconhecer suas especificidades. Isso inclui, quanto ao som, reconhecer suas características físicas, relacionando-as a fontes, volume, timbre ou escalas musicais, os meios que aprimoram sua transmissão, amplificam ou reduzem sua intensidade e sua interação com a matéria, como a produção do eco. (BRASIL, 2002, p. 74).

Nos PCNEM, fica claro o papel da informática, na ocasião foi usado um aplicativo chamado Diapasão, na educação quando define competências e habilidades que os alunos devem desenvolver no decorrer do Ensino Médio. Dentre elas podemos destacar:

Reconhecer a Informática como ferramenta para novas estratégias de aprendizagem, capaz de contribuir de forma significativa para o processo de construção do conhecimento, nas diversas áreas. (PCNEM, 2000, p.62).

O produto educacional intitulado “Roteiro Didático Experimental” deve consistir em um roteiro detalhado das atividades experimentais com elementos textuais básicos como capa, folha de rosto, grande área, área e subárea da Física, eixo temático, introdução. Além disso, contém objetivo geral, objetivos específicos, apresentação, materiais utilizados, tabela de custo dos materiais, montagem dos experimentos com fotos, análise e explicação, perguntas, aplicações no cotidiano, conclusão e referenciais, afirma (ALMEIDA).

Seu uso tem impacto positivo inclusive para alunos com dificuldades de aprendizado conforme afirma Melo (2019). Neste trabalho, foi demonstrado que o uso de um submarino pode ser aplicado para auxiliar no ensino de mecânica, explorando conceitos como empuxo, pressão etc. Isso demonstra o potencial de utilização da experimentação como uma metodologia capaz de permitir aos estudantes associarem elementos do cotidiano (como submarinos) ao conhecimento específico da disciplina.

O ensino de forma responsável tende a proporcionar aos estudantes uma educação de qualidade, isso faz sua vivência e entendimento da ciência e da tecnologia na educação básica serem de grande valor, porém, naturalmente apresentam algumas problemáticas, pois haverá mudanças contínuas e necessárias para otimizar o ensino regular.

Tais transformações reforçam o papel do docente, no qual é muito importante, como facilitador do processo de ensino aprendizagem (NUNES, 2019). O ensino de Física apresenta dificuldades desafiadoras, destacando a aprendizagem restrita a baixos níveis cognitivos, o ensino extremamente centrado no professor com aulas predominantemente expositivas, tradicional, a ausência de experimentos, a falta de relação do conteúdo com o cotidiano e livros

didáticos que enfatizam a transmissão de informações memoráveis e a desconstrução do conhecimento.

O professor facilitador necessita ter um conhecimento científico e tecnológico para ministrar a aula, no qual, se faz necessário ter um bom desempenho na docência. A Física quando apresentada de forma tradicional, com usos de regras e fórmulas, gráficos, tabelas e perguntas sem contextualização com respostas prontas, se torna algo mecânico. Sendo essas algumas das razões para que o aluno desenvolva uma apatia com a respectiva disciplina.

5 ONDAS SONORAS

O estudo do som teve origem com os antigos gregos com escritos eram relacionados, principalmente, aos seus instrumentos e escalas musicais. Pitágoras, em 550 a. C., estudou as leis das vibrações usando uma harpa de uma corda, observando as consonâncias entre os intervalos. (ARAGÃO, 2006)

Posteriormente os romanos utilizaram conhecimento dos gregos para ampliar seus conhecimentos, no qual o primeiro tratado sobre a construção acústica foi escrito por Vitruvius 50 a. C, com isso o som tornou-se um ramo científico da Física no século XVII com Galileu, de forma efetiva, que em 1638 publicou seu trabalho que havia escrito muito antes onde enunciou as leis de vibração das cordas e os princípios de ressonância, através das observações feitas sobre o vultear dos sinos das igrejas e das lâmpadas penduradas na catedral de pisa.

Os estudos mais modernos de acústica foram, no entanto, iniciados por Newton, em sua obra Principia, em 1687, onde ele demonstrou que a velocidade das vibrações longitudinais é diretamente proporcional à raiz quadrada da razão entre a elasticidade do meio e a sua densidade, chegando então o valor da velocidade do som no ar através da suposição de que o mesmo executa, erroneamente, um processo isotérmico.

Após os tratados houveram muitos outros estudos relacionados ao som, com Halley e Flamsted, através de experiências em Greenwich para ter precisão da velocidade publicada por Newton. Após cem anos depois, Pierre Simon Laplace (1749-1827), matemático e físico francês, concordou com o resultado e com as experiências de Greenwich.

Em meados de 1800, Ernest Chladin (1756-1827) físico alemão, determinou a velocidade do som nos gases, ao usar tubos de órgãos cheios de gases. Ernest Heinrich Weber (1795-1878), fisiologista alemão, juntamente com Gustav Fechner (1801-1887), providenciaram as bases experimentais que levaram ao enunciado da lei de Weber-Fechner da percepção sensorial. Já em 1825, ao lado do seu irmão mais velho, publicou o tratado sobre ondas “Die Wellenlehre auf Experimente Gegrundet”. (ARAGÃO, 2006).

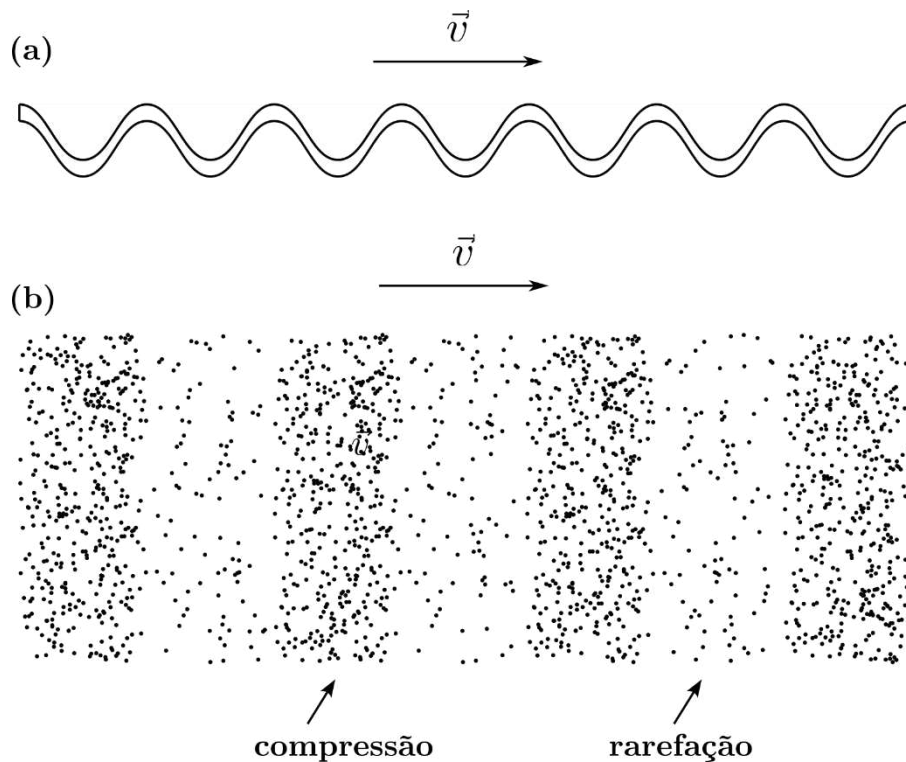
5.1 Ondas em meios elásticos

Para que se possa ouvir sons, é preciso que ondas sonoras se propaguem através de um meio material, sendo assim, elas são chamadas de ondas mecânicas. Essas ondas são produzidas

por corpos em vibração e caso não haja esse meio material, não será possível a propagação das mesmas, como por exemplo, no vácuo, onde é impossível a propagação de uma onda sonora.

Como foi comentado acima, a onda sonora é uma onda mecânica. Costuma-se classificar as ondas mecânicas em dois tipos principais: as transversais e as longitudinais, sendo estas distinguidas pela maneira como as suas perturbações se propagam. As transversais são tais que a perturbação que estas carregam são perpendiculares à direção de propagação da onda enquanto nas longitudinais a perturbação é paralela à direção de propagação, conforme ilustra a figura 01. As ondas sonoras são consideradas como qualquer onda longitudinal, pois sua propagação ocorre na mesma direção das oscilações das camadas de ar que carregam os pulsos audíveis. (HALLIDAY 2014).

Figura 01: Ilustração da propagação, com velocidade \vec{v} , de ondas (a) transversais numa corda esticada e (b) longitudinais de compressão e rarefação de um gás.



Fonte: Próprio autor.

Dentre os diversos tipos de ondas, além dos mostrados na figura 01, alguns exemplos de ondas longitudinais são as ondas de compressão numa mola e as ondas sísmicas do tipo P, enquanto exemplos típicos de ondas transversais incluem as ondas eletromagnéticas (luz), para

citar um exemplo de onda não mecânica, e as ondulações que se formam num lago quando uma pedra é atirada sobre o mesmo.

Há ainda ondas mistas, nas quais perturbações transversais e longitudinais se propagam simultaneamente como as ondas do mar. Além disso, a propagação dessas ondas num meio material pode dar origem a fenômenos exóticos como a propagação das ondas longitudinais de compressão que se propagam numa mola que dão origem a ondas transversais, conforme Wittrick (1965).

5.2 A equação de onda

Para obter a equação satisfeita pelas ondas sonoras vamos considerar como as rarefações e compressões num gás, conforme mostrado na figura 01(b), que indicam as flutuações na densidade ρ do gás se relacionam com a pressão p no mesmo. A derivação apresentada aqui segue a mesma filosofia de Nussenzveig (2014).

5.2.1 Relação densidade-pressão

Considerando o ar como um gás ideal, a mudança de densidade implica numa mudança de pressão correspondente. Considerando que uma massa de gás M , ocupando um volume V e inicialmente a uma pressão P , sofre uma variação uma variação de pressão ΔP , esta variação implica numa mudança de volume $\Delta V < 0$. No caso de pequenas variações de pressão e volume, a razão entre variação de pressão ΔP e a variação relativa de volume $(-\Delta V/V)$ que ela provoca pode ser expressa através do módulo de elasticidade volumétrico B dado por:

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} . \quad (1)$$

Esse módulo é característico para o tipo de gás e para o processo que o mesmo realiza. No caso de variações infinitesimais de pressão e volume podemos definir para um dado processo α :

$$B_\alpha = -V \left(\frac{dP}{dV} \right)_\alpha . \quad (2)$$

A mesma relação pode ser escrita para a razão com a densidade, utilizando a relação $\rho = M/V$. Neste caso temos,

$$d\rho = -M \frac{dV}{V^2} \Rightarrow -\frac{dV}{V} = \frac{V}{M} d\rho = \frac{d\rho}{\rho} , \quad (3)$$

de maneira que:

$$B_\alpha = \rho \left(\frac{dP}{d\rho} \right)_\alpha , \quad (4)$$

para um dado processo α .

Na figura 01(b) as regiões de compressão e rarefação estão exageradas, de maneira que no caso geral

$$\begin{aligned} P &= p_0 + p, \\ \rho &= \rho_0 + \delta, \end{aligned} \quad (5)$$

com $p/p_0 \ll 1$ e $\delta/\rho_0 \ll 1$, i.e. as variações relativas de pressão e densidade são muito pequenas com relação aos valores médios. Isso nos garante que a equação 4 pode ser utilizada nesse contexto.

Para efeitos de comparação, o módulo de elasticidade volumétrico para processos isotérmicos (indicados pela letra T) e adiabático (indicado pela letra S – entropia constante) é dado por:

$$B_T = \rho_0 \left(\frac{dP}{d\rho} \right)_{T,0} = \rho_0 \frac{d}{d\rho} (k\rho)_0 = \rho_0 k = \frac{p_0}{\rho_0} , \quad (6)$$

e,

$$B_S = \rho_0 \left(\frac{dP}{d\rho} \right)_{S,0} = \rho_0 \frac{d}{d\rho} (k\rho^\gamma)_0 = \gamma \rho_0 k = \gamma \frac{p_0}{\rho_0} . \quad (7)$$

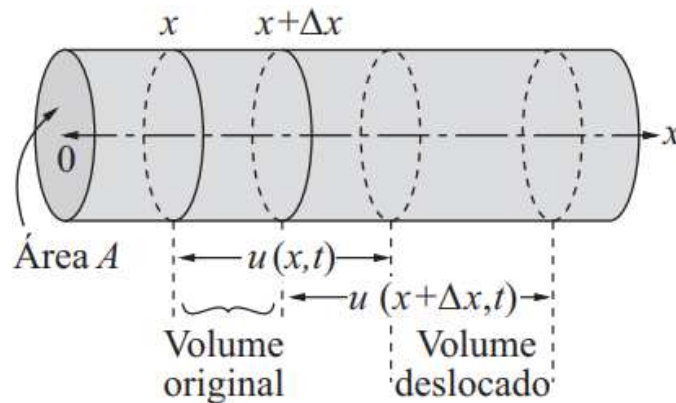
Nas equações 6 e 7 utilizamos a constante k para indicar a relação entre a pressão P e a densidade ρ em cada processo e γ representa o coeficiente de Poisson para o gás, considerado

ideal. Essas relações são úteis para determinar a velocidade do som no ar, conforme mostraremos nas seções a seguir.

5.2.2 Relação densidade-deslocamento

Outra relação importante e que irá caracterizar como a onda sonora se desloca no ar é a relação entre as variações de densidade do gás (ar) e o deslocamento, ordenado, das camadas de ar. Para obter esta relação, consideremos o que está ilustrado na figura 02.

Figura 02: Movimento das camadas de ar no modelo de um tubo cilíndrico.



Fonte: Nussenzveig (2014).

Na figura 02 apresentada é utilizado um modelo idealizado no qual as camadas de ar oscilam na direção x , o deslocamento com relação à posição de equilíbrio é representado por $u = u(x, t)$. Nela, um tubo de ar com área de seção transversal A , delimitado pelas regiões entre x e $x + \Delta x$ ocupa um volume $V = A\Delta x$.

Após uma variação de pressão ΔP as camadas de ar se deslocam e o novo volume ocupado é dado por:

$$\begin{aligned}
V + \Delta V &= A\{[x + \Delta x + u(x + \Delta x, t)] - [x + u(x, t)]\} \\
&= A\{\Delta x + [u(x + \Delta x, t) - u(x, t)]\} \\
&= A\Delta x \left\{ 1 + \left[\frac{u(x + \Delta x, t) - u(x, t)}{\Delta x} \right] \right\} \\
&\approx A\Delta x \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right).
\end{aligned} \tag{8}$$

De maneira que:

$$\Delta V = A\Delta x \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) = V \frac{\partial u}{\partial x}(x, t). \tag{9}$$

Retomando o resultado obtido na equação 3, podemos escrever:

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dV}{V} = -\frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \Rightarrow \delta = -\rho_0 \frac{\partial u}{\partial x}(x, t), \tag{10}$$

Este resultado está ilustrado na figura 01, e indica que quando há uma onda de rarefação $\partial u/\partial x > 0$ a densidade do gás diminui ($\delta < 0$) como esperado por conta da expansão do gás.

5.2.3 Relação pressão - deslocamento

Como já dito anteriormente, as variações de pressão ao longo do gás é que são responsáveis pela criação de zonas de compressão e rarefação no mesmo. Ainda utilizando a figura 02, e lembrando que a massa $\Delta m = \rho\Delta V \approx \rho_0 A\Delta x$ é a massa encerrada pelas camadas de ar entre x e $x + \Delta x$, podemos analisar a força resultante ΔF sobre esta camada para obter:

$$\begin{aligned}
\Delta F &= [P(x, t) - P(x + \Delta x, t)]A \\
&= -A\Delta x \left[\frac{P(x, t) - P(x + \Delta x, t)}{\Delta x} \right] \\
&= -\Delta V \frac{\partial p}{\partial x}(x, t).
\end{aligned} \tag{11}$$

Aplicando a 2ª lei de Newton à camada, obtemos:

$$\Delta F = \Delta m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\Delta V \frac{\partial p}{\partial x}(x, t)$$

ou

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad (12)$$

5.2.4 A velocidade do som

Valendo-se das relações obtidas até agora, podemos determinar a velocidade com a qual as ondas sonoras se propagam no espaço. Utilizando a regra da cadeia, podemos fazer:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial \rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x} = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_0 \frac{\partial}{\partial x} \left(-\rho_0 \frac{\partial u}{\partial x}\right) = -\rho_0 \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_0 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -B \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (13)$$

Inserindo a equação 13 na equação 12, obtemos a *equação de onda* para a propagação do som:

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = B \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (14)$$

Podemos identificar nessa equação a velocidade do som como:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}} = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_0} \quad (15)$$

Em que a derivada deve ser tomada para o processo específico desenvolvido pelo ar durante a propagação das ondas sonoras. Vale ressaltar aqui que Isaac Newton obteve um resultado análogo no qual o som seria composto por compressões e rarefações isotérmicas do ar, obtendo como resultado para a velocidade do som

$$v_{Newton} = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_T} = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{1,013 \times 10^5}{1,293}} \approx 280 \text{ m/s.}$$

Somente após mais de um século, em 1816, que Laplace, conhecido como o Newton francês, inferiu que as ondas sonoras se propagam de forma que as rápidas compressões e rarefações não permitem a troca de calor, de maneira que o processo desenvolvido deveria ser adiabático. Obteve assim:

$$v_{som} = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}} = \sqrt{\gamma \left(\frac{P}{\rho}\right)_0} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{m}} \approx 340 \text{ m/s} . \quad (16)$$

5.3 Propriedades das ondas sonoras

Quando uma camada de um meio elástico livre é estimulada por uma excitação mecânica externa, e transmite a excitação para a camada posterior, produz uma onda longitudinal no meio considerado. Um exemplo simples é o sistema massa–mola e a propagação do som em meios homogêneos (sólido, líquido e gás).

Uma vibração mecânica que se propague em um certo meio e que possua uma frequência entre 20 Hz e 20.000hz pode estimular o sentido da audição humana (som audível). As vibrações mecânicas inferiores a 20 Hz são denominadas de infrassom e as superiores a 20.000 ultrassom. Uma onda sonora é produzida por sucessivas compressões e descompressões de camadas adjacentes de um meio homogêneo. Podemos concluir que a velocidade de propagação de uma onda longitudinal (o som) depende apenas da densidade do meio e da compressibilidade do meio onde o som se propaga, conforme indicado pela equação 15. A Tabela 1 abaixo mostra a velocidade do som em alguns meios

Tabela 1: Velocidade do som em diferentes materiais de acordo com a equação 15.

Meios	Material	Velocidade (m/s)
Gases	Ar (0 °C)	331
	Ar (20 °C)	343
	Hélio	965
	Hidrogênio	1284
Líquidos	Água (0 °C)	1402
	Água (20 °C)	1484
	Água do mar (20 °C e 3,3% de salinidade)	1522

Sólidos	Alumínio	6420
	Aço	5941
	Granito	6000

Fonte: Adaptado de Resnick, vol 2 (4ª edição).

5.3.1 Intensidade sonora

Considerando uma onda sonora harmônica cuja amplitude de pressão pode ser dada pela expressão:

$$P(x, t) = \mathcal{P}_0 \text{sen}(kx - \omega t). \quad (17)$$

Na qual $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda (λ é o comprimento de onda) e $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular (sendo f a frequência de oscilação da onda). A constante \mathcal{P}_0 representa a amplitude de oscilação da pressão da onda.

A onda de deslocamento das camadas de ar também pode ser escrita como uma onda harmônica. Usando a equação 12 é possível mostrar que:

$$u(x, t) = u_0 \cos(kx - \omega t), \quad u_0 = \frac{\mathcal{P}_0}{\rho_0 k v^2}. \quad (18)$$

Em que identificamos $v = \omega/k$ como sendo a relação entre a velocidade do som, a frequência angular e o número de onda.

Para uma dada camada de ar, conforme ilustrada pela figura 02, a potência fornecida à onda pode ser escrita como:

$$W = F(x, t) \frac{\partial u}{\partial t} = \mathcal{P}_0 A \cdot \omega u_0 \cdot \text{sen}^2(kx - \omega t). \quad (19)$$

De maneira que a intensidade média de energia transmitida pela onda (potência por unidade de área) pode ser escrita como

$$I = \frac{\bar{W}}{A} = \mathcal{P}_0 \cdot \omega u_0 \cdot \overline{\text{sen}^2(kx - \omega t)} = \frac{1}{2} \omega \mathcal{P}_0 u_0 = \frac{1}{2} \rho_0 v \omega^2 u_0^2. \quad (20)$$

Indicando um resultado conhecido de que a intensidade sonora é proporcional ao quadrado da frequência e ao quadrado da amplitude da onda de deslocamento. Observe que o termo proporcional à velocidade indica que a energia se propaga com a velocidade v da onda sonora.

5.3.2 A escala decibel

Um outro resultado importante é que a sensibilidade humana à intensidade sonora não é representada por uma escala linear, i.e. ao dobrar a intensidade sonora a percepção do som não é dobrada. Uma escala que representa com certa fidedignidade a percepção sonora é a escala logarítmica *bel*.

Considera-se empiricamente que a menor intensidade sonora audível, ou simplesmente limiar de audibilidade sonora é correspondente à intensidade:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 . \quad (21)$$

Abaixo da qual o ser humano não é capaz de detectar som.

A escala bel é dada em função desse valor como:

$$\alpha = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) . \quad (22)$$

Com α dado em *decibéis*, daí o fator de 10. Note que ao duplicar a intensidade sonora I o valor de α aumenta de aproximadamente 3 decibéis. Uma conversa comum tem intensidade de aproximadamente 65 decibéis, enquanto um show de rock apresenta intensidades sonoras da ordem de 110 decibéis.

5.4 Tubos sonoros

A propagação de uma onda sonora no interior de um tubo pode ser analisada fazendo uma analogia com a propagação de uma onda estacionária em uma corda vibrante. Desse modo, a propagação de uma onda sonora em um tubo fechado em uma das extremidades (de acordo com a figura 03) é análogo a propagação de uma onda estacionária em uma corda fixa em uma das extremidades. Neste caso, a amplitude de deslocamento no lado fechado do tubo se anula enquanto é máxima na parte aberta. Essas condições de contorno para a onda de deslocamento nos conduzem à relação entre o comprimento de onda da onda estacionária e o comprimento do tubo sonoro dada por

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda_n}{4}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (23)$$

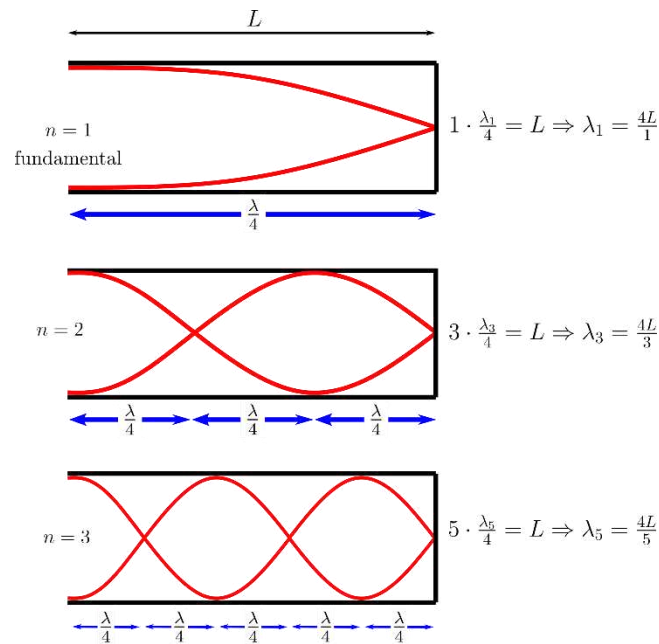
Na qual o índice n indica o harmônico da onda sonora nesse tubo. Para $n = 1$ se diz que a onda oscila no 1º harmônico ou modo fundamental e, neste caso, $\lambda = 4L$.

A frequência correspondente a cada um dos harmônicos pode ser escrita como:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = (2n - 1) \frac{v}{4L} = (2n - 1)f_0, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (24)$$

na qual $f_0 = v/4L$ é a frequência do modo fundamental.

Figura 03: Tubo aberto fechado em uma das extremidades. Está indicada a amplitude de oscilação da onda de deslocamento do som dentro do tubo.



Fonte: Próprio autor.

Outra situação de interesse é aquela na qual as duas extremidades do tubo sonoro estão abertas (de acordo com a Figura 04). Nesta situação formam-se dois ventres da onda de deslocamento nessas extremidades. A distância entre um ventre e o primeiro nó adjacente é igual a um quarto do comprimento de onda. Sendo assim, a distância total entre os dois ventres das extremidades do tubo e os nós adjacentes corresponde a meio comprimento de onda, ou seja

$$L = n \frac{\lambda_n}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (25)$$

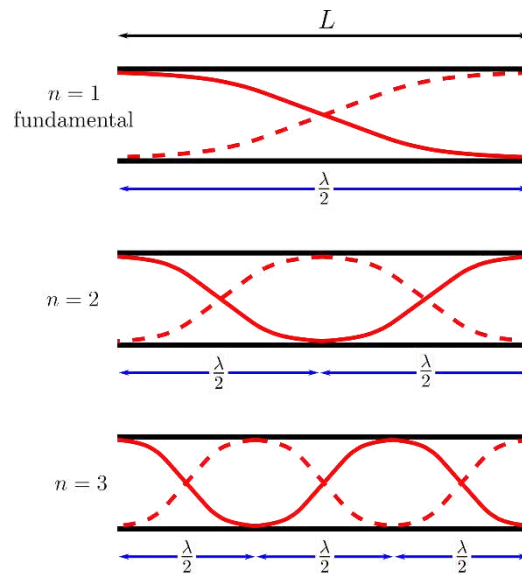
Para $n = 1$ se diz que a onda oscila no 1º harmônico ou modo fundamental e, neste caso, $\lambda = 2L$.

A frequência correspondente a cada um dos harmônicos pode ser escrita como:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2L} = n f_0, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (26)$$

na qual $f_0 = v/2L$ é a frequência do modo fundamental.

Figura 04: Tubo aberto nas duas extremidades. Está indicada a amplitude de oscilação da onda de deslocamento do som dentro do tubo.



Fonte: Próprio autor.

Como exemplo, baseando-se nos dados que serão utilizados no produto educacional aqui proposto, consideremos um cilindro de 80 cm de comprimento como tubo sonoro. No nosso caso, o comprimento do tubo será aumentado (movendo o pistão) com o comprimento de onda mantido fixo. Colocando-se um diapásio com frequência $f = 500$ Hz próximo ao tubo e alterando lentamente o comprimento do tubo verificamos a ressonância nos três primeiros harmônicos. Os comprimentos correspondentes do tubo serão dados por

$$L_n = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} = (2n - 1) \frac{v}{4f} = 17 \cdot (2n - 1), \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (27)$$

Com L_n dado em centímetros. Para os 4 primeiros harmônicos obtemos:

$$L_1 = 17 \text{ cm}, \quad L_2 = 51 \text{ cm} \text{ e } L_3 = 85 \text{ cm}.$$

Veja que o último harmônico precisaria de um tubo com $L = 85$ cm e, portanto, é possível que não seja observado com um tubo utilizado no experimento proposto.

6 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada em uma escola no município de Maracanaú - CE com um quantitativo de 24 alunos da terceira série do Ensino Médio. A aplicação da pesquisa ocorreu em sala de aula por falta da carência de um laboratório de Ciências (Física). Na pesquisa, foi proposta uma Sequência Didática, onde utilizamos um aparato experimental de baixo custo (Tubo sonoro com cano de PVC).

Nessa pesquisa buscamos avaliar os aspectos qualitativos da aplicação do produto educacional frente aos aspectos quantitativos através de um questionário (pré-teste e pós-teste) e um roteiro experimental elaborado pelo professor da respectiva turma. A sequência didática Ensino-Aprendizagem foi estruturada de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Etapas do desenvolvimento da pesquisa.

Etapas	Conteúdos	Metodologia e Ferramentas
Apresentação das atividades (50 min)	Ondulatória	Discussão sobre as atividades experimentais
Aplicação do Pré-Teste	Ondulatória	<i>Google Forms</i>
Introdução dos Conceitos: Frequência Sonora, Comprimento de Onda, Velocidade do Som em alguns meios materiais e Número de Harmônicos (50 min)	Ondulatória	Discussão sobre as Ondas Sonoras
Aplicação da prática Experimental	Ondulatória	Avaliação e análise dos relatórios
Aplicação do Pós-Teste	Ondulatória	<i>Google Forms</i>

Fonte: Próprio autor.

Na primeira etapa, fizemos uma apresentação da TLS. Nela, foi apresentada a proposta da sequência didática, que consiste em utilizar um experimento que investiga a intensidade do som num tubo sonoro com o objetivo de demonstrar para os alunos a formação de ondas estacionárias. Ainda nesta etapa são discutidas, de maneira geral, como a atividade experimental será realizada indicando, por exemplo, que a mesma será realizada em equipes. O formulário aplicado pré-teste será apresentado no capítulo subsequente junto com as respostas dos estudantes.

Após a primeira etapa, os estudantes são encaminhados para responder a um pré-teste, que tem como objetivo fazer um levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos conteúdos de oscilações e ondas. O questionário foi proposto para ser respondido na plataforma *Google Forms* de maneira que os estudantes poderiam usar o intervalo entre os encontros presenciais para respondê-lo, otimizando assim o contato presencial do docente com os mesmos.

Na terceira etapa, logo após a aplicação do pré-teste, é realizada uma aula para esclarecer sobre aqueles conteúdos que os estudantes apresentaram maiores dificuldades. Nesse encontro são discutidos, entre outros, os conceitos de comprimento de onda, período e frequência, cruciais para o bom aproveitamento da prática.

A quarta etapa consiste diretamente da aplicação do produto educacional. Nela, conforme será descrito com mais profundidade nas seções posteriores, os grupos de estudantes foram orientados a produzir um tubo sonoro a partir do qual investigaram a formação de ondas sonoras estacionárias.

Aqui, os estudantes são incentivados a buscar os materiais necessários para a montagem dos equipamentos que serão utilizados. Além de materiais mais simples, como um cano de PVC, os estudantes utilizaram como fonte e receptor das ondas sonoras aplicativos disponíveis em abundância para os seus smartphones. Estes últimos, apesar de não serem necessariamente um instrumento de baixo custo, são um equipamento de fácil acesso uma vez que praticamente todos os alunos possuem e, mesmo que um aluno em particular não tenha, os seus colegas de equipe têm acesso.

Na quinta, e última, etapa é feita uma aplicação de um pós-teste. Esse teste, também aplicado através do *Google Forms* tem como objetivo principal fazer um levantamento da receptividade dos estudantes quanto à sequência didática, mais do que avaliar a absorção do conteúdo em si. Esta última avaliação, é realizada em tempo real através da discussão dos estudantes com relação às suas dúvidas durante a execução do procedimento experimental.

Nesse ponto ressaltamos o caráter construtivista da proposta de ensino aqui utilizada. A avaliação processual do aprendizado dos estudantes está ligada diretamente à execução da prática experimental. Sem a aquisição dos conhecimentos específicos sobre comprimento de onda, intensidade e velocidade da onda sonora os alunos não teriam condições de interpretar os resultados obtidos.

7 O PRODUTO EDUCACIONAL

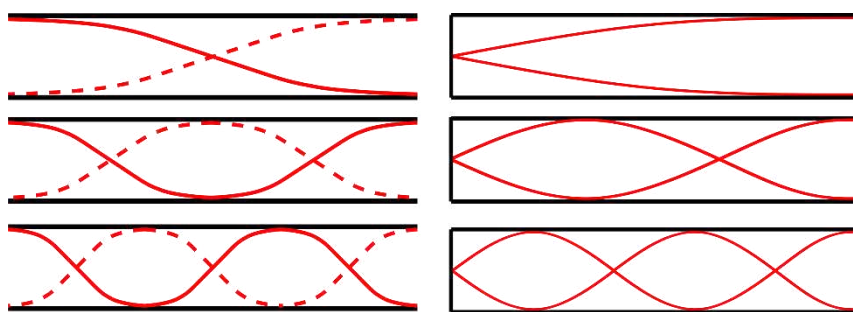
Cada corda, cada coluna de ar, ou, de modo geral, cada corpo possui uma ou mais frequências naturais de vibração, isto é, frequências em que sua vibração pode durar por tempos mais longos sem alterar sua amplitude de maneira significativa e nas quais o recebimento de energia pode ser feito de maneira ressonante.

Em virtude dessa propriedade, se um corpo estiver em repouso e sobre ele incidir uma onda cuja frequência seja igual a uma de suas frequências naturais de vibração, os componentes do corpo começam também a vibrar com a frequência considerada. Então se diz que ele está em ressonância com a onda recebida. Assim, um corpo pode reforçar um som com o qual ele se encontra em ressonância.

Encontram-se condições de ressonância em Mecânica, em Ótica, em Física Atômica e Nuclear etc. Em todos os casos quando o sistema está em ressonância este absorverá energia máxima da fonte, e relativamente pouca energia quando não está em ressonância.

Denomina-se tubo sonoro a toda massa de ar, geralmente limitada por uma superfície cilíndrica fechada que, quando posta a vibrar, produz um efeito sonoro. Os tubos sonoros podem possuir as duas extremidades abertas ou uma de suas extremidades fechadas, conforme mostra a figura 3.

Figura 05: Representação de ondas estacionárias em tubos sonoros: com duas extremidades abertas e uma fechada.



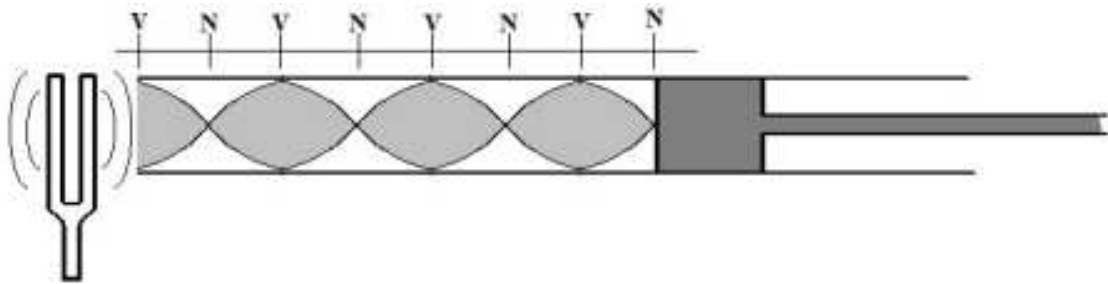
Fonte: Próprio autor.

Produzindo-se um som na boca do cano e fazendo-se variar a frequência, sob certas condições a coluna de ar entra em ressonância, reforçando o som produzido. As ondas sonoras que penetram no cano e as refletidas nas extremidades (há reflexão até mesmo nas extremidades abertas) produzem uma onda estacionária.

Na figura 05 estão representadas as ondas estacionárias dos três primeiros modos de ressonância de cada configuração de um tubo sonoro aberto em uma e em duas das extremidades. Na figura, é possível observar a formação de nós de deslocamento (pontos sem movimento das camadas de ar, imóveis, onde há interferência destrutiva) e ventres (pontos de maior oscilação das camadas de ar, amplitude máxima, onde há interferência construtiva).

Na ressonância, há sempre um nó de deslocamento na extremidade fechada e um ventre na extremidade aberta. Na figura 04 estão indicados os nós e os ventres em um tubo sonoro com uma extremidade fechada. A situação descrita trata do caso ideal, no caso real o ventre da onda está ligeiramente fora do tubo.

Figura 06: Representação de uma onda estacionária, mostrando os nós e os ventres.



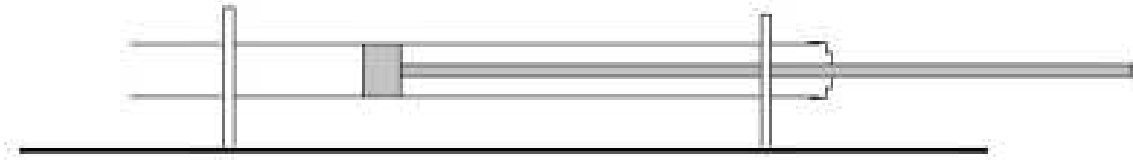
Fonte:

Roteiro de Práticas do Professor Dr Nildo Loiola Dias, UFC, 2022.

OBS: As ondas estacionárias em um tubo sonoro podem também ser descritas em termos de ondas de pressão; neste caso, numa extremidade fechada haverá um ventre de pressão (ponto onde a pressão sofre variação máxima) e numa extremidade aberta haverá um nó de pressão (ponto onde não há variação de pressão, visto que a pressão no tubo será igual à pressão atmosférica externa).

Podemos utilizar a ressonância nos tubos sonoros para medir a velocidade do som no ar. Para isso faz-se variar o comprimento de uma coluna de ar dentro de um tubo fechado em uma das extremidades, conforme ilustra o esquema da figura 06.

Figura 07: Representação do equipamento da figura 08 mostrando o êmbolo no seu interior.



Fonte: Roteiro de Práticas do Professor Dr Nildo Loiola Dias, UFC, 2022.

Neste trabalho a proposta é utilizar um cano de PVC, figura 08, no qual o comprimento da coluna de ar pode ser alterado movendo-se um êmbolo localizado no seu interior. Na figura 07 é apresentado o diagrama esquemático do equipamento montado pelos estudantes (veja a figura 08) mostrando o êmbolo no seu interior.

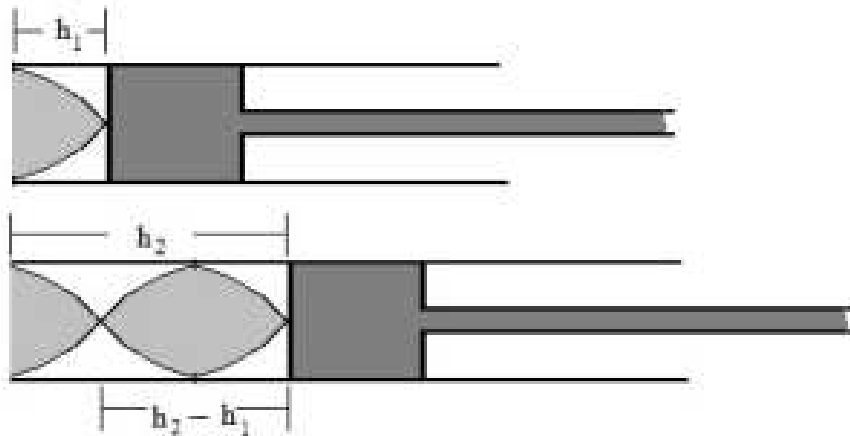
Figura 08: Fotografia do equipamento utilizado em nosso laboratório para a determinação da velocidade do som no ar; na extremidade aberta está posicionado um celular como fonte sonora.



Fonte: Próprio autor.

No experimento presencial realizado pelos estudantes, utilizamos um celular ou um diapasão para produzir um som de frequência bem definida (o celular deve usar um aplicativo para isso). Partindo da situação inicial em que o êmbolo está na boca do cano e aumentando gradativamente o comprimento da coluna de ar dentro do cano, observa-se que a intensidade do som atinge um máximo quando o êmbolo está a uma distância h_1 (figura 09) da boca do cano: a onda estacionária apresenta um nó na superfície do êmbolo e um ventre na boca do cano.

Figura 09: Posições do êmbolo onde ocorrem ressonâncias.



Fonte: Roteiro de Práticas do Professor Dr Nildo Loiola Dias, UFC, 2022.

Se continuarmos aumentando o comprimento da coluna de ar, a intensidade do som atinge um outro máximo quando o êmbolo está a uma distância h_2 da boca do cano. Neste caso, a onda estacionária apresenta um nó na superfície do êmbolo (em h_2) e um outro nó a uma distância h_1 da boca do cano. Como a distância entre dois nós consecutivos é meio comprimento de onda, temos:

$$h_2 - h_1 = \lambda/2,$$

na qual λ é o comprimento de onda do som no ar. Como $v = \lambda \cdot f$, resulta:

$$v = 2(h_2 - h_1)f$$

Já que a frequência f é conhecida (frequência da fonte, no caso um celular ou um diapásão) e h_1 e h_2 podem ser medidos e podemos calcular a velocidade de propagação do som no ar.

7.1 Montagem do produto educacional

O produto educacional foi montado utilizando um cano (PVC) de 80 cm, uma canaleta de um metro, suportes de madeira, dois tampos com o mesmo diâmetro do cano, uma trena e as medidas feitas utilizando um aparelho celular.

Cada corda, cada coluna de ar, ou, de modo geral, cada corpo possui uma ou mais frequências naturais de vibração, isto é, frequências em que sua vibração se efetua com maior facilidade, ou seja, nas quais há melhor aproveitamento da energia recebida.

- Cano PVC (80 cm);
- Uma canaleta (cano fino) (1 m);

- Suportes de madeira (bases para apoiar o cano PVC) (Opcional);
- Um celular com capacidade de colocar o aplicativo DIAPASÃO¹ frequência de até 550 Hz ou até 450 Hz;
- Uma régua de 50 cm;
- Fita adesiva.

Os materiais descritos acima estão dispostos na figura 10. Observe na figura que os materiais utilizados para isolar o ar (construção do êmbolo) são as tampas de potes que podem ser encontrados facilmente nas casas dos estudantes.

Figura 10: Materiais de baixo custo utilizados para a montagem do experimento de tubos sonoros.



Fonte: Próprio autor.

Para produzir o tubo sonoro as fitas adesivas são utilizadas para fixar a canaleta às tampas, usadas como êmbolos, e para isolar os tubos de PVC, conforme mostrado na figura. A utilização das bases de madeira para encaixar o tubo de PVC e aumentar a estabilidade do sistema é opcional. Algumas das equipes não utilizaram as referidas bases, mas os resultados obtidos, observação da ressonância sonora, foram satisfatórios.

Na figura 10 não foi apresentado o celular uma vez que o mesmo era diferente para cada equipe.

¹ Disponível na PlayStore do Google. No entanto, podem ser utilizados outros aplicativos que produzem ondas sonoras com frequência bem definida.

7.2 Desenvolvimento e pesquisa aplicada do produto educacional

Apresentamos o desenvolvimento do produto e sua aplicação. O objetivo principal deste produto, é analisar a velocidade do som no ar com o uso de um tubo sonoro e um diapasão virtual.

Nessa proposta de ensino, buscamos sustentar a posição do estudante como elemento central no processo de ensino e aprendizagem. Tendo em vista o que afirmam Ricardo (2010) e Queirós et. al. (2013) sob os enfoques da educação científica e à ideia de que cabe a ela promover o acesso a informações que possibilitem a reflexão sobre os procedimentos, os desafios e as limitações da ciência como prática social, foram propostos momentos de formação com os estudantes para que estes produzissem o sistema experimental a ser utilizado. Isto corresponde à quarta etapa da sequência didática conforme apresentada na tabela 2.

A pesquisa foi desenvolvida em uma escola particular no município de Maracanaú – CE com 24 alunos da 3ª série do Ensino Médio. No primeiro momento foram realizados alguns encontros semanais para a confecção do produto educacional. Neste período os estudantes tiveram aulas expositivas sobre o tema da pesquisa, e por último, apresentação do produto educacional e aplicação da atividade experimental.

Na tabela 3 são apresentadas as etapas de montagem e utilização do experimento de tubos sonoros proposto nesse trabalho. Na primeira etapa foi apresentado o produto a ser desenvolvido pelos alunos, utilizando uma montagem já pronta e apresentando aos mesmos o esquema geral de montagem.

Na segunda e na terceira etapas foi separada uma carga horária específica para que os estudantes pudessem buscar os materiais e realizar a montagem conforme as especificações. Nestas etapas houve grande interação entre os estudantes uma vez que alguns têm dificuldades em realizar as montagens.

Na quarta etapa, após os testes realizados e as revisões de conteúdo feitas, é apresentado o roteiro experimental que os estudantes devem seguir e a aplicação efetiva do produto educacional, com a aquisição e o tratamento de dados experimentais obtidos com o objetivo de obter a velocidade de propagação do som no ar através da análise das posições de ressonância do êmbolo com a excitação de ondas sonoras a partir do aplicativo de celular utilizado.

Tabela 3. Elaboração do produto educacional.

Encontro	Atividades	Tempo de duração
1º Encontro	Apresentação do produto educacional ser desenvolvido.	2 aulas / 50 minutos
2º Encontro	Aquisição dos materiais de baixo custo.	2 aulas / 50 minutos
3º Encontro	Elaboração do produto educacional.	2 aulas / 50 minutos
4º Encontro	Apresentação do roteiro experimental e aplicação do produto educacional.	2 aulas / 50 minutos

Fonte: Próprio autor.

7.3 Procedimentos

Após a produção do experimento os estudantes devem seguir um procedimento experimental específico para garantir que todos possam refletir de maneira crítica como ocorre a prática científica. As etapas do procedimento estão listadas a seguir.

- i. Ligue a fonte sonora para funcionar como um diapasão (virtual), ele emitirá um som de frequência bem determinada (440 Hz) e conhecida que é reforçado pela coluna de ar dentro do cano PVC (primeiro harmônico) quando o êmbolo é movimentado vagarosamente;
- ii. Enquanto o som emitido permanece audível, variando-se a coluna de ar dentro do tubo sonoro detecte as posições em que o som é ouvido com mais intensidade (1º harmônico, 2º harmônico e 3º harmônico etc.);
- iii. Meça o comprimento h (em centímetros) da coluna de ar interna ao tubo em que o som foi ouvido com máxima intensidade e anote na tabela 4.

- iv. Por meio dessas medidas de h e conhecendo a frequência do diapasão do som emitido, determine a velocidade do som no ar e anote na tabela a seguir.
- v. Repita o procedimento com as demais frequências e compare os valores de velocidade do som obtidos para cada frequência.

Tabela 4. Dados experimentais obtidos para o comprimento da coluna de ar h , em cm, em cada um dos harmônicos como função da frequência sonora.

Frequência	h_1 (cm) 1º harmônico	h_2 (cm) 2º harmônico	h_3 (cm) 3º harmônico	Velocidade do som (m/s)
550 Hz				
440 Hz				
330 Hz				

Fonte: Próprio do autor.

Na figura 11 está ilustrado o momento em que os alunos estão realizando o procedimento experimental, realizando a aquisição de dados. Nesta etapa devido ao tamanho do tubo, foi comum que 2 ou 3 estudantes precisassem se alternar para mover o pistão, acionar a fonte sonora e anotar os dados. Por isto esse é um bom número para a quantidade de estudantes nas equipes.

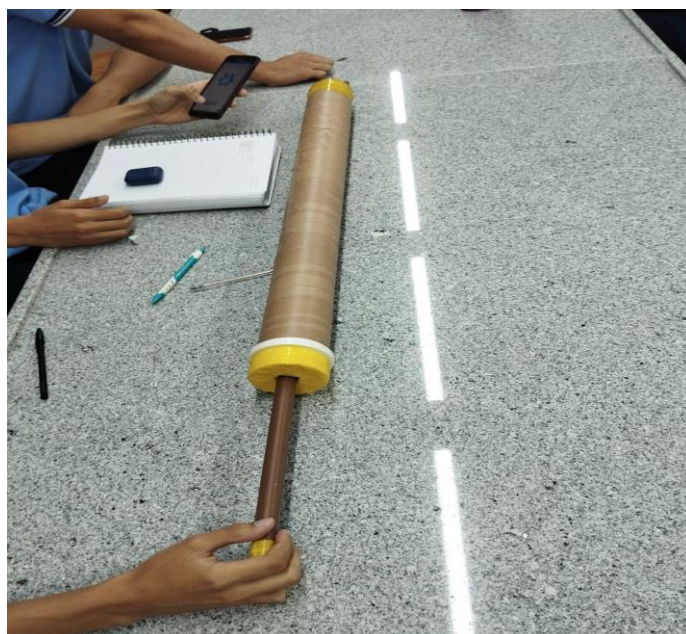
Figura 11: Aplicação do produto educacional (parte 1). Aquisição dos dados experimentais.



Fonte: Próprio autor.

Na figura 12 está ilustrado o momento em que os estudantes utilizam os valores obtidos para o comprimento da coluna de ar para determinar a velocidade do som. Esse foi o momento em que os alunos tiveram mais dificuldades e precisaram da presença e orientação constante do professor.

Figura 12: Aplicação do produto educacional (parte 2). Obtenção da velocidade de propagação do som a partir dos dados experimentais obtidos.



Fonte: Próprio autor.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo central da metodologia aqui proposta é tornar o aluno protagonista do processo de aprendizagem através da realização das atividades experimentais. Todas as atividades propostas foram realizadas em equipes e as montagens e execuções dos experimentos ficaram sob a responsabilidade de cada equipe, cabendo ao professor/pesquisador o papel de mediador destas realizações, fazendo intervenções quando necessário.

Para a montagem dos experimentos, sempre foi dado um prazo para a apresentação, pois, com isso, os grupos poderiam tirar as dúvidas quanto à montagem dos experimentos e tal expediente foi realizado de várias formas, durante as aulas, nos intervalos e até mesmo através de redes sociais. Adotamos essa prática de trabalho em grupos por considerarmos uma maneira na qual os alunos teriam mais interatividade, comunicabilidade, cooperação, colaboração, organização, interesse e participação. Esses elementos fortalecem a proposta de motivar os estudantes a participar das atividades, o que costuma ser uma das dificuldades que encontramos ao buscar aplicar metodologias ativas em sala de aula. Podemos notar que, durante as realizações das atividades, os nossos objetivos foram atingidos.

A atividade experimental em que o aluno é um protagonista nas suas realizações é muito importante para a melhoria da qualidade de ensino de Física, uma vez que ele se torna capaz de analisar criticamente as situações problema bem como passa a interpretar com mais facilidade as aproximações e idealizações que se costuma fazer ao apresentar os conteúdos de Física em sala de aula. Todavia, ela não é um fim, mas uma ferramenta de ligação entre a teoria e a prática.

8.1 Análise do pré-teste

Na primeira etapa da pesquisa foi aplicado um quiz como pré-teste sobre os conceitos de *ondas mecânicas*. As questões foram elaboradas buscando utilizar linguagem simples e obter respostas rápidas, a fim de despertar a motivação e curiosidade dos discentes. As perguntas podem ser consultadas na tabela 05. O objetivo principal de aplicação deste pré-teste foi verificar se os estudantes tinham conhecimento prévio suficiente antes de realizar a prática experimental, buscando tornar a aplicação da prática mais eficiente.

Tabela 5: Quiz aplicado na plataforma no *google forms* (pré-teste) tratando das propriedades das ondas sonoras.

Perguntas	Respostas
P1. A propagação das ondas envolve, necessariamente:	A) Transporte de energia através do meio. B) Transporte macroscópico das partículas. C) Transporte macroscópico da matéria e da energia.
P2. O comprimento de onda é:	A) A menor distância entre dois pontos quaisquer que estejam sofrendo a mesma deformação. B) A menor distância entre dois pontos sucessivos que estejam sofrendo a mesma deformação. C) Igual a velocidade que a onda percorre em um período.
P3. A frequência fundamental está relacionada ao:	A) Segundo harmônico. B) Terceiro harmônico. C) Primeiro harmônico.
P4. A velocidade do som no ar a uma temperatura de 20°C equivale aproximadamente:	A) 290 m/s. B) 340 m/s. C) 373 m/s.
P5. A velocidade de propagação do som num gás é:	A) Diretamente proporcional à temperatura absoluta. B) Inversamente proporcional à temperatura absoluta. C) Diretamente proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta.
P6. Uma onda estacionária se forma em um tubo devido ao fenômeno:	A) Da reflexão. B) Da ressonância. C) Da difração.
P7. O som é considerado uma onda:	A) Longitudinal. B) Transversal. C) Eletromagnética.

Fonte: Próprio autor.

No total, 35 estudantes participaram do pré-teste, respondendo a todas as perguntas que foram propostas na plataforma *Google Forms*. A escolha de utilização desta plataforma se deu por conta da simplicidade que os estudantes têm para responder, uma vez que adquiriram maior afinidade durante o período de pandemia COVID-19, bem como pela facilidade de análise das respostas, uma vez que a própria plataforma já gera gráficos com as respostas dos estudantes.

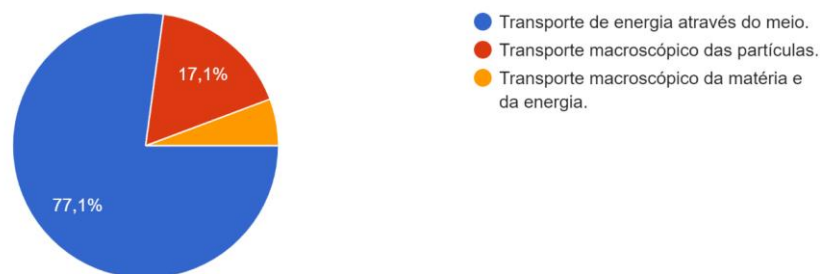
A seguir, mostramos as respostas dos estudantes para cada uma das perguntas feitas no quiz pré-teste seguidas de uma análise que considera tanto as respostas como um relato da experiência de aplicação do produto aqui exposto.

No gráfico da figura 13 observa-se que 77,1% dos estudantes responderam corretamente à pergunta 1 que tinha como objetivo avaliar os conceitos sobre a propagação de uma onda mecânica. Já os 17,1% marcaram a opção de transporte de partículas, mostrando que uma parte considerável ainda interpretava a propagação de ondas sonoras como sendo uma onda que carrega as camadas de ar ao invés de apenas provocar uma vibração das mesmas.

Após a análise destas respostas foi necessário realizar apenas uma breve discussão acerca da propagação das ondas mecânicas, uma vez que ao distribuir os estudantes em equipes para realizarem a prática naturalmente as discussões entre eles deveriam conduzir ao entendimento integral por parte daqueles que ainda tinham dúvidas quanto a propagação do som, principalmente, não carregar matéria.

Figura 13: Respostas dos alunos à pergunta 1 do pré-teste.

P1. A propagação das ondas envolve, necessariamente:
35 respostas



Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 14 observa-se que 62,9% dos estudantes acertaram a pergunta 2 que tinha como foco principal avaliar um dos conceitos básicos sobre o que seria uma onda mecânica: o comprimento de onda. Já os outros 37,1% erraram essa pergunta pelo fato de não conhecerem profundamente o assunto em questão.

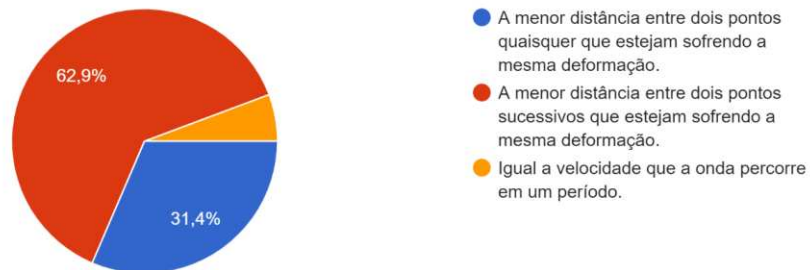
Apesar do alto percentual de erro neste problema é possível verificar que boa parte dos alunos entendeu que há uma relação entre a fase (colocada no problema como a deformação) e

o comprimento de onda, uma vez que responderam à resposta correta (item B) e à resposta parcialmente correta (item A).

Por se tratar de um item importante para o desenvolvimento do experimento proposto, uma vez que há uma relação direta entre os modos da onda estacionária no interior do tubo sonoro e o comprimento de onda, foi utilizado um tempo maior para explicar novamente o que é o comprimento de onda.

Figura 14: Respostas dos alunos à pergunta 2 do pré-teste.

P2. O comprimento de onda é:
35 respostas



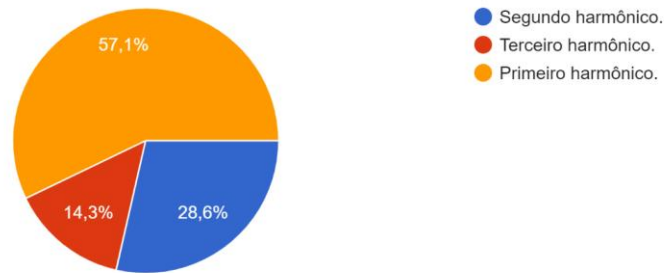
Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 15 percebe-se que 57,1% dos estudantes acertaram a questão 3 que tinha o intuito de avaliar os conceitos teóricos sobre a frequência fundamental nas ondas sonoras em tubos. Já os erros dos 28,6% (item A) e 14,3% (item B) indicam um grande desconhecimento dos alunos com relação ao assunto explorado na questão. Não podemos concluir que houve um bom resultado prévio no número de acertos nessa pergunta.

Assim como o problema anterior, este tem relação direta com o desenvolvimento do experimento, indicando sua grande importância para que os estudantes sejam capazes de relacionar a prática com a teoria. Por este motivo, foi necessário retomar uma discussão sobre o conceito de ondas estacionárias e a formação de harmônicos, buscando tornar a aplicação do produto mais eficiente.

Figura 15: Respostas dos alunos à pergunta 3 do pré-teste.

P3. A frequência fundamental está relacionada ao:
35 respostas



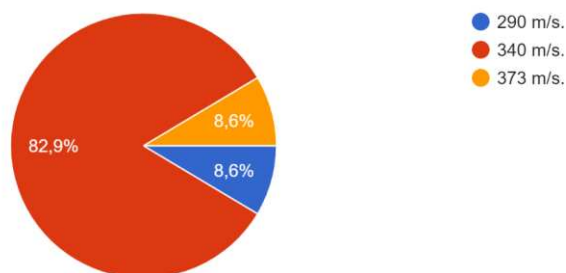
Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 16 observa-se que 82,9% dos estudantes acertaram a pergunta 4 que tinha como foco principal conhecer o valor da velocidade do som no ar. Já os 17,2% que não acertam indicam que há uma boa quantidade de estudantes com conhecimento necessário para garantir a aplicação do produto.

Uma das ideias de propor este problema foi no sentido de garantir que os estudantes tivessem alguma intuição dos resultados a serem obtidos após a aplicação do produto educacional, isso pode garantir que eles refaçam os cálculos, ou as medidas, em caso de obterem valores muito distantes do esperado.

Figura 16: Respostas dos alunos à pergunta 4 do pré-teste.

P4. A velocidade do som no ar a uma temperatura de 20°C equivale aproximadamente:
35 respostas



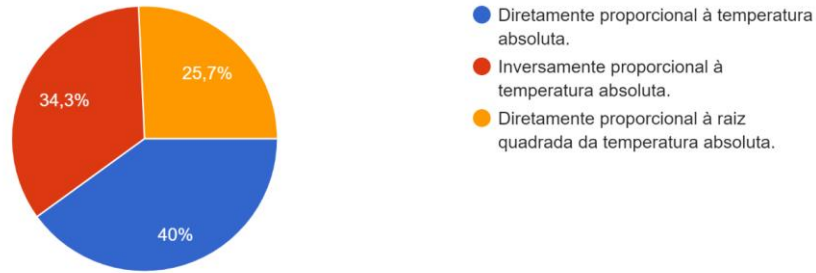
Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 17 observa-se que apenas 25,7% dos estudantes acertaram a pergunta 5 que tinha como foco principal avaliar a relação entre a velocidade de uma onda sonora no ar e a temperatura absoluta. Já os 34,3% e 40% que erraram a pergunta demonstram a dificuldade da mesma. Devido à distribuição quase que igualitária entre os percentuais é

possível inferir, inclusive, que os estudantes podem ter apenas marcado aleatoriamente as respostas.

Figura 17: Respostas dos alunos à pergunta 5 do pré-teste.

P5. A velocidade de propagação do som num gás é:
35 respostas



Fonte: Próprio autor.

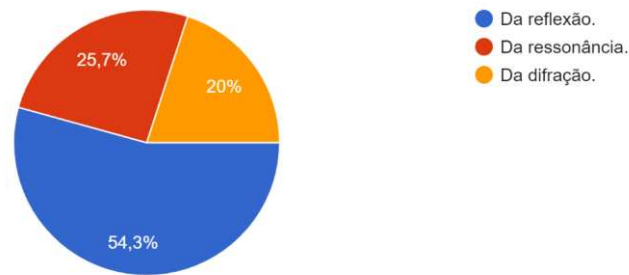
Apesar de não ser uma pergunta crucial para a aplicação do produto educacional, essa é uma das possíveis dependências que pode provocar uma dispersão nas medidas de velocidade do som. O entendimento de que a velocidade do som depende de várias quantidades como a temperatura, expressa nesse problema, ou outras como a umidade do ar, permite aos alunos interpretarem os dados experimentais com mais criticidade.

No gráfico da figura 18 observa-se que 54,3% dos estudantes acertaram a pergunta 6 que tinha como objetivo avaliar os fenômenos que permitem a formação das ondas estacionárias em tubos sonoros. Já os 25,7% e 20% que não tiveram uma boa margem de acertos indicam que a complexidade da questão pode ter sido acima do que se esperava.

Nessa questão, a proposta foi que os estudantes tivessem uma ideia geral da reflexão das ondas no interior do tubo sonoro. Apesar do fenômeno da interferência das ondas (neste caso de uma onda mecânica) ser também importante para a formação das ondas estacionárias, não escolhemos incluir esse fenômeno na pergunta para verificar se os alunos entendem que a reflexão ocorre para os diversos tipos de onda, incluindo a sonora.

Figura 18: Respostas dos alunos à pergunta 6 do pré-teste.

P6. Uma onda estacionária se forma em um tubo devido ao fenômeno:
35 respostas



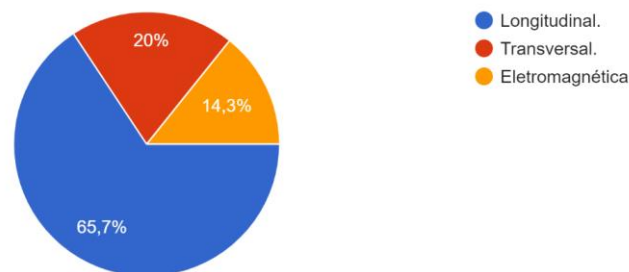
Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 19 abaixo observa-se que 65,7% dos alunos acertaram a pergunta 7 que tinha como foco principal avaliar o tipo de onda da qual o som é constituído. Os 20% e 14,3% que não acertaram indicam a falta de conhecimentos básicos acerca da natureza do som.

Novamente, apesar de não ser crucial para a aplicação do produto educacional, é necessário que os estudantes saibam caracterizar as ondas sonoras. No caso daqueles que responderam que o som pode ser considerado uma onda eletromagnética, notamos a necessidade de deixar claro a diferença desta com as ondas mecânicas. Com relação à natureza da onda, sabemos que a formação de ondas estacionárias não depende da mesma, isso ficou claro para os estudantes na aplicação do produto.

Figura 19: Respostas dos alunos à pergunta 7 do pré-teste.

P7. O som é considerado uma onda:
35 respostas



Fonte: Próprio autor.

8.2 Resultados obtidos pelos alunos

O produto educacional foi aplicado de acordo com a metodologia condicionada do produto educacional (ver tabela 3). Os alunos foram separados por grupos de três integrantes no qual cada componente tinha um determinado dever:

- 1 componente ficou responsável por acionar o aplicativo Diapasão;
- 1 componente ficou responsável mover a canaleta;
- 1 componente ficou responsável pela identificação do harmônico e fazer a respectiva medida.

Após a formação das equipes, foram entregues aos alunos os procedimentos da atividade experimental, como deveria ser realizada a utilização da fonte sonora (diapasão) e as devidas anotações. Com as anotações encontradas, os alunos colocaram os valores adquiridos na tabela de medidas (ver tabela 4) assim como o valor da velocidade do som obtido utilizando a equação:

$$v = 2(h_2 - h_1)f$$

Foram dadas aos alunos as devidas instruções para realização da prática, como começar a medir entre 2 cm a 5 cm para sim identificar os harmônicos. Vale ressaltar que havia a possibilidade de não serem encontradas as três medidas h_1 , h_2 e h_3 , devido aos valores das frequências atribuídas para a prática que eram de 220 Hz, 330 Hz e 440 Hz. Os alunos relataram que as medidas de 220 Hz e 330 Hz foram tais que não houve um provável valor de h_3 devido ao tamanho do tubo.

Como toda atividade experimental, houve alguns valores encontrados pelos alunos próximos a 340 m/s e também um pouco mais distante.

Alguns resultados obtidos pelos alunos estão a seguir:

Figura 20: Resultados da equipe 1.

Dados experimentais obtidos para o comprimento da coluna de ar, em cm, em cada um dos harmônicos como função da frequência sonora.

Frequência	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	Velocidade do som (m/s)
440 Hz	2	40	76	334,4
330 Hz	2	53	X	336,6
220 Hz	2	77	X	338,8

Fonte: Próprio autor.

Figura 21: Resultados da equipe 2.

Dados experimentais obtidos para o comprimento da coluna de ar, em cm, em cada um dos harmônicos como função da frequência sonora.

Frequência	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	Velocidade do som (m/s)
440 Hz	4,5	42	76	330/289,2
330 Hz	3	54		336,6
220 Hz	4	75		312,4

OBS: Não rasure, se possível preencha a lápis.

Fonte: Próprio autor.

Figura 22: Resultados da equipe 3

Dados experimentais obtidos para o comprimento da coluna de ar, em cm, em cada um dos harmônicos como função da frequência sonora.

Frequência	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	Velocidade do som (m/s)
440 Hz	5,0	44,0	78,0	343,0
330 Hz	5,0	56,0	?	336,0
220 Hz	5,0	79,0	?	325,6

OBS: Não rasure, se possível preencha a lápis.

Fonte: Próprio autor.

Figura 23: Resultados da equipe 4

Dados experimentais obtidos para o comprimento da coluna de ar, em cm, em cada um dos harmônicos como função da frequência sonora.

Frequência	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	Velocidade do som (m/s)
440 Hz	5	43	74	339,4
330 Hz	5	57		343,2
220 Hz	5	75		308

OBS: Não rasure, se possível preencha a lápis.

Fonte: Próprio autor.

Como é possível observar dos resultados apresentados nas figuras de 20 a 23, que indicam os resultados obtidos pelos estudantes após a aplicação do produto educacional, alguns valores de comprimento não puderam ser medidos. Isso ocorreu devido ao fato de que as frequências utilizadas não permitiam a formação de muitos harmônicos.

Além disso, a formação do primeiro harmônico ocorreu quase na mesma posição para todos os estudantes, independentemente da frequência. Esses valores ocorrem na prática em posições diferentes daquelas calculadas no modelo teórico simplificado porque os efeitos de bordas são muito importantes na formação de harmônicos. Apesar de isso ter causado confusão inicial nos estudantes, os mesmos foram orientados a contar os comprimentos de onda a partir da diferença na posição dos harmônicos.

Após uma explicação sobre estes efeitos de bordas, que deveriam ser considerados em cálculos mais precisos, os estudantes conseguiram entender de maneira geral como obter a velocidade da luz contornando essa situação.

Após a atividade experimental concluída houve uma satisfação da parte de alguns alunos com a prática, como também com a compreensão do conteúdo abordado, algumas dúvidas como sobre os efeitos de borda foram esclarecidas, mas eles foram sempre orientados que em experimentos é normal ocorrer divergências de medidas e com o valor tabelado das grandezas que desejamos determinar.

Foi dado aos alunos um link do google forms, para os alunos que participaram da prática preenchessem. Os resultados adquiridos no pós-teste serão mostrados na próxima sessão.

8.3 Análise do pós-teste

Num segundo momento, foi aplicado um questionário pós-teste acerca da aplicação do produto educacional. As questões foram embasadas sobre os materiais utilizados na prática experimental e sobre a investigação da prática. As perguntas podem ser consultadas na Tabela 6 mostrada a seguir.

Tabela 6: Quiz aplicado na plataforma no *google forms* (pós-teste) tratando da aplicação do produto educacional.

Perguntas	Respostas
P1. Os materiais utilizados na prática experimental foram de fácil acesso?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P2. A montagem experimental foi de fácil acesso?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P3. A prática auxiliou na compreensão dos conceitos de acústica?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P4. Para as posições de h, foi possível detectar os harmônicos com facilidade?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P5. O que você achou da prática experimental?	A) Fácil. B) Difícil. C) Outros.
P6. O valor encontrado no experimento foi compatível com o real?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P7. O aplicativo utilizado como fonte sonora (diapasão virtual) auxiliou na prática experimental?	A) Sim. B) Não. C) Outros.

Fonte: Próprio autor.

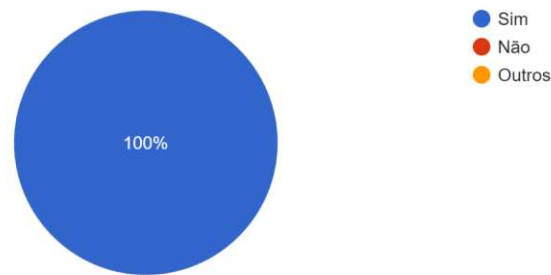
No gráfico da figura 20 observa-se que 100% dos alunos indicaram que os materiais utilizados na prática experimental foram de fácil acesso. O objetivo dessa pergunta foi

identificar a acessibilidade dos materiais de baixo custo utilizados na elaboração do produto educacional proposto nesta pesquisa.

Isso demonstra que é possível que a mesma aplicação ou aplicações semelhantes podem ser aplicadas por professores em outras turmas. O ponto crítico seria a utilização de celulares com o aplicativo diapasão (ou algum semelhante), mas isso não se revelou um problema uma vez que boa parte dos alunos dispunha do instrumento.

Figura 24: Respostas dos alunos à pergunta 1 do pós-teste.

P1. Os materiais utilizados na prática experimental foram de fácil acesso?
24 respostas

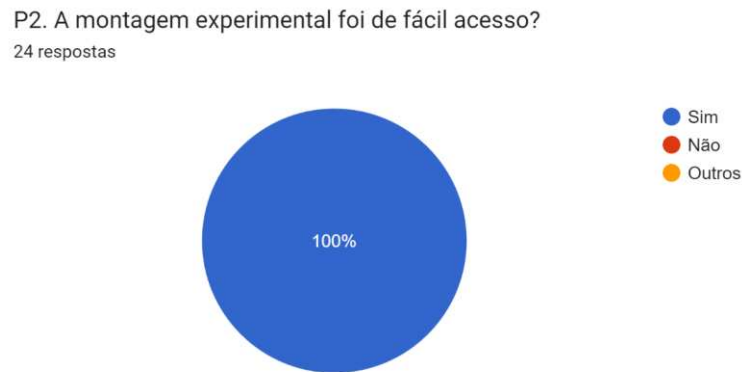


Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 21 observa-se que 100% dos estudantes indicaram que a montagem experimental foi de fácil acesso. O kit experimental foi desenvolvido em etapas com a supervisão do professor de sala e os respectivos alunos. Nesse ponto é importante ressaltar que os alunos tinham pouca ou nenhuma prática com atividades experimentais. Isso demonstra que a simplicidade da abordagem tem grande potencial para ser utilizado em uma sala de aula comum, sem a necessidade de ser explorada em disciplinas puramente experimentais.

Ainda sobre o assunto, vale ressaltar que o tubo sonoro utilizado apresenta uma montagem simplificada com comprimento de 80 cm e diâmetro de 7,5 cm com uma canaleta utilizada para modificar o tamanho da coluna de ar a ser utilizada. Durante a aplicação da prática os estudantes se separaram para manipular o experimento, anotar os resultados e realizar os cálculos necessários para obter a velocidade do som. Isso auxiliou no desenvolvimento de habilidades específicas, como trabalhar em equipe e discutir resultados.

Figura 25: Respostas dos alunos à pergunta 2 do pós-teste.



Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 22 observa-se que 100% dos alunos afirmaram que a prática experimental auxiliou bastante na compreensão dos conceitos de acústica. Podemos concluir que as aulas teóricas associadas à prática experimental auxiliaram no entendimento de vários conceitos tais como: frequência, velocidade de uma onda sonora, comprimento de onda, ondas estacionárias, número de harmônicos e ressonância.

Aqui, ressalto que durante a aplicação da prática foi possível observar, através do relato dos alunos, uma melhor associação entre os termos técnicos e o fenômeno físico. Um exemplo concreto foi a percepção da correlação entre o conceito de ressonância e o aumento da intensidade sonora quando o comprimento do tubo apresentava tamanhos específicos.

Figura 26: Respostas dos alunos à pergunta 3 do pós-teste.

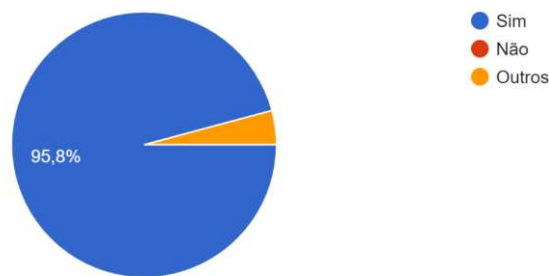


Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 23 observa-se que 95,8% dos alunos concluíram que na realização da atividade experimental, para a detecção das posições dos harmônicos, foram de fácil acesso. O restante, apenas um aluno, respondeu (outros). Para este estudante em específico não houve uma compreensão clara entre o conceito de ressonância e a formação dos harmônicos. Após uma breve explicação o aluno parece ter compreendido a situação.

Figura 27: Respostas dos alunos à pergunta 4 do pós-teste.

P4. Para as posições de h , foi possível detectar os harmônicos com facilidade?
24 respostas

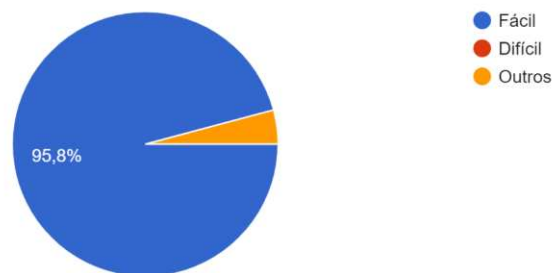


Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 24 observa-se que 95,8% dos alunos concluíram que a atividade experimental foi de fácil acesso. Podemos concluir que as aulas teóricas ajudaram bastante na compreensão da atividade prática. O restante, apenas um aluno, respondeu (outros). Este estudante apresentou dificuldade na obtenção dos máximos de interferência, que dão origem à ressonância, durante a prática experimental.

Figura 28: Respostas dos alunos à pergunta 5 do pós-teste.

P5. O que você achou da prática experimental?
24 respostas

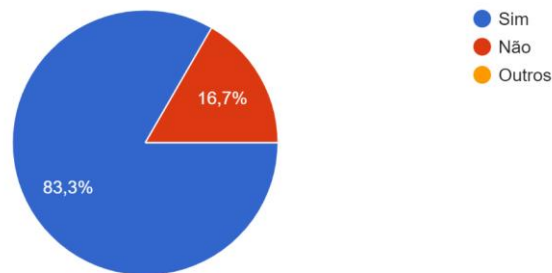


Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 25 observa-se que 83,3% conseguiram encontrar o valor da velocidade do som no ar compatível com o valor real (343 m/s). Os demais estudantes responderam (outros) isso pode ser justificado pelo fato de não conseguirem identificar o valor na prática experimental e fazer uma comparação com o valor real.

Figura 29: Respostas dos alunos à pergunta 6 do pós-teste.

P6. O valor encontrado no experimento foi compatível com o real?
24 respostas

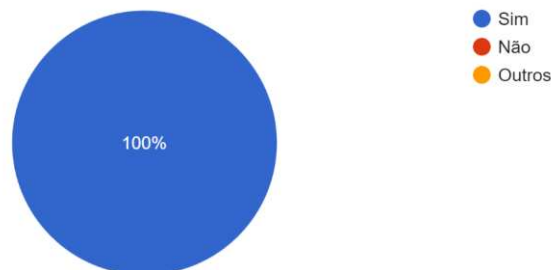


Fonte: Próprio autor.

No gráfico da figura 26 observa-se que 100% afirmaram que o aplicativo utilizado na prática experimental foi de grande valia na realização da atividade. O diapasão usado foi um aplicativo do celular que pode ser adquirido na internet no qual o aluno pode variar a frequência sonora. Os estudantes não mostraram quaisquer dificuldades em utilizar o aplicativo durante a prática experimental.

Figura 30: Respostas dos alunos à pergunta 7 do pós-teste.

P7. O aplicativo utilizado como fonte sonora (diapasão virtual) auxiliou na prática experimental?
24 respostas



Fonte: Próprio autor.

9 CONCLUSÃO

O uso das atividades experimentais em sala de aula, ou no laboratório de Ciências, é um aliado bastante importante para a proposta didática do professor. A implementação de atividades experimentais, além de poder assegurar uma melhoria na relação de ensino e aprendizagem, pode servir de referencial para a postura didática do professor. Com base nas necessidades do trabalho experimental, como o trabalho em equipe e a motivação, o professor pode elaborar aulas que também visam explorar essas características.

Mesmo trabalhos que trazem bases teóricas, muitas vezes não apresentam um roteiro de como os conteúdos devem ser trabalhados em sala de aula, para que possam efetivamente atingir os objetivos desejados durante a realização de experimentos. Além disso, não trazem observações dos possíveis erros ou até mesmo de outros resultados com os quais nós podemos nos deparar durante as suas realizações.

Por isso, todos os tipos de atividades experimentais ou laboratórios didáticos de Física devem ser testados anteriormente pelos professores, pois quando surgir um erro ou outro resultado que não era o esperado inicialmente, o professor deve agir como mediador, esclarecendo as possíveis dúvidas e explicando os resultados inesperados para que a atividade experimental atinja os resultados e objetivos previstos de antemão. Os alunos não só aprenderão mais, como o farão de forma mais interativa, participativa e prazerosa.

Sendo assim, consideramos que o resultado da aplicação da sequência didática proposta nesse trabalho foi bastante satisfatória e serviu para motivar os alunos por meio do conhecimento construído através de práticas experimentais. Motivação essa para aprendizagem que tem se caracterizado como um dos principais desafios enfrentados pelos professores em sala de aula na atualidade.

Estudos conduzidos nas últimas décadas reconhecem o processo motivacional como elemento essencial da aprendizagem e como fator decisivo do desempenho escolar dos estudantes (PAIVA, BARBATO, JOÃO E MUNIZ, 2018).

Na maior parte desta pesquisa, os alunos se manifestaram de forma positiva a respeito da prática experimental que haviam realizado no decorrer dos encontros.

Concluída a parte teórica, o professor apresentou o produto educacional e sua montagem que foi feita pelos estudantes que sentiram-se bastante motivados quanto à sua confecção e realização.

Além de avaliar a interação e a aprendizagem significativa dos estudantes, o trabalho teve como objetivo fomentar os conhecimentos significativos dos educandos através da construção e aplicação.

No decorrer da pesquisa, houve algumas problemáticas, como horários disponíveis no contraturno, alguns estudantes demoraram a responder tanto o quiz (pré-teste) quanto o pós-teste e os materiais que cada estudante teria que trazer na data marcada. Mesmo com todos os obstáculos, os objetivos da pesquisa foram alcançados.

Para Vygotsky, a zona de desenvolvimento proximal é compreendida como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do aluno, tal como medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, tal como medido através da solução de problemas sob orientação de um professor ou em colaboração com colegas de turma mais capazes. (VYGOTSKY, apud MOREIRA 2011a, p. 114)

Acreditamos que o cronograma da sequência didática, a atividade experimental e o entusiasmo utilizado pelo professor demonstram o produto educacional como um material potencialmente significativo, fazendo com que os alunos tivessem uma pré-disposição ao processo de aprendizagem, segundo as teorias da Aprendizagem Significativa e da teoria sócio interacionista.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, Maria José. *História da Física*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 224 p.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BRASIL. Ministério da Educação. Portal do Professor. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/index.html>. Acesso em: 1 maio. 2011.
- BRASIL. Ministério da indústria, do comércio e do turismo. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n.º 115. 1998. 9 p. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=537. Acesso em: 1 maio. 2011.
- BRASIL. Ministério da Educação – MEC-SEMTEC. **PCN+ - Ensino Médio: orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC-SEMTEC, 2002.
- CAVALCANTE, M. A.; BONNIZIA, A.; GOMES, L. C. Aquisição de dados em laboratórios de física: um método simples, fácil e de baixo custo para experimentos em mecânica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 2501-1 – 2501-6, 2008.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. *Revista A Física Na Escola*, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 29-30, maio 2003. Disponível em: www.sbfisica.org.br/fne/Vol4/Num1/a10.pdf. Acesso em: 02 fev. 2008.
- DA ROSA, Cleci Werner; DA ROSA, A. B. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las ciencias*, v. 4, n. 1, 2005.
- EVANGELISTA, Fábio Lombardo; CHAVES, Lara Tibolla. Uma proposta experimental e tecnológica na perspectiva de Vygotsky para o ensino de física. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n. 1, p. 177-200, 2019.
- FINO, Carlos Nogueira. Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): três implicações pedagógicas. *Revista Portuguesa de educação*, n. 14, 2001, p. 273-291.
- GASPAR, Alberto; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.
- GEHLEN, Simoni Tormöhlen; DELIZOICOV, Demétrio. A dimensão epistemológica da noção de problema na obra de Vygotsky: implicações no ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 17, n. 1, p. 59-79, 2012.
- GOBARA, S. T.; NASCIMENTO, C. S. *Uma introdução para o ensino de ondas sonoras*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., São Luís. *Atas [...]*. São Luís: UFMA, 2007.

- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. *Fundamentos de Física*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. v. 2
- HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. *Tópicos de Física*. São Paulo: Editora Saraiva, 2012. v.2
- JARDIM, M. I. A.; ERRIBIDART, N. C. G.; GOBARA, S. T. Levantamento dos trabalhos em ensino de física que investigam ondas sonoras. *In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA*, 11., Curitiba. *Atas* [...]. Curitiba: [s.n], 2008. v.1.
- LABURÚ, Carlos Eduardo; BARROS, Marcelo Alves; KANBACH, Bruno Gusmão. A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 3, p. 305-320, 2007.
- MARTINS, Renata Lacerda Caldas; VERDEAUX, Maria de Fátima da Silva; GOMES DE SOUSA, Célia Maria Soares. A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, 2009, p. 3401-1.
- MATOS, Maria Goreti; VALADARES, Jorge. O efeito da atividade experimental na aprendizagem da ciência pelas crianças do primeiro ciclo do ensino básico. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 6, n. 2, p. 227-239, 2001.
- MELO, Vagner Henrique. *Guia Metodológico para o ensino de Física, usando a experimentação, aplicado aos alunos com dificuldades no aprendizado*. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Nacional de Brasília, 2019.
- MOREIRA, Marco Antonio e MASSONI, Neusa Teresinha. *Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de ciências/física*. Porto Alegre: Instituto de Física/UFRGS, v. 26, n. 6, 2015.
- NUNES, Raimundo Héison Jiló. *Construção e aplicabilidade do tubo de Kundt para o estudo da acústica. Proposta embasada na teoria sócio interacionista de Vygotsky e suas relações com a prática da experimentação com materiais de baixo custo*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2019.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica, 2: fluidos, oscilações, e ondas*, calor. 5. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2014.
- PEREIRA, Alexsandro; LIMA JUNIOR, Paulo. Implicações da perspectiva de Wertsch para a interpretação da teoria de Vygotsky no ensino de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, n. 3, p. 518-535, 2014.
- PERUZZO, J. *Experimentos de física básica: mecânica*. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

RABELLO, Elaine T.; PASSOS, José Silveira. *Vygotsky e o desenvolvimento humano*. Portal Brasileiro de Análise Transacional, 2010, p.1-10.

RAMOS, Luciana Bandeira da Costa; ROSA, Paulo Ricardo da Silva. *O Ensino de Ciências: fatores intrínsecos e extrínsecos que limitam a realização de atividades experimentais pelo professor dos anos iniciais do ensino fundamental*. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 3, p. 299-331, 2008.

ROXO, Marcelo dos Santos. *Ensino de Óptica Ondulatória com Experimentos de Aquisição Automática de Dados via Microcontrolador Arduino com Python*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – UFT, 2019.

SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, M.W. *Física II*. 12. ed. São Paulo: PEARSON, 2008. v. 2

VALADARES, E. C. *Física mais que divertida: inventos eletrizantes baseados em materiais reciclados e de baixo custo*. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2012.

VASCONCELOS, C.; PRAIA, J. F.; ALMEIDA, L. S. Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da introdução à aprendizagem. *Revista Psicologia Escolar e Educacional*, v. 7, n. 1, p. 11-14, 2003.

VILLANI, Carlos Eduardo Porto; NASCIMENTO, Silvania Sousa. *A Argumentação e o Ensino de Ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio*. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 8, n. 3, p. 187-209, 2003.

VYGOTSKY, L. *Pensamento e Linguagem*. Tradução de Jefferson L. Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

WITTRICK, W. H. On elastic wave propagation in helical springs. *Int. J. Mech. Sci.*, v. 8, n. 1, p. 25-47, 1965.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DA VELOCIDADE DO SOM NO ENSINO MÉDIO SOB O ENFOQUE NA TEORIA VIGOTSKIANA

Este guia tem o objetivo de orientar o professor de Física do Ensino Médio no objetivo de auxiliá-lo na aplicação de uma sequência didática baseada no uso de uma prática experimental de tubos sonoros para o Ensino de Física, mais especificamente do conteúdo de ondulatória.

Espera-se que com a abordagem aqui apresentada o docente consiga incentivar os estudantes a interagir com mais facilidade e entusiasmo com as teorias físicas e suas aplicações, tornando-os agentes ativos no processo de ensino e aprendizagem.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA

JOSÉ NILSON DO NASCIMENTO CUNHA

**UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DA VELOCIDADE DO SOM NO ENSINO MÉDIO
SOB O ENFOQUE NA TEORIA VIGOTSKIANA**



SUGESTÃO DE USO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Orientador: Prof. Dr. Fernando Wellysson de Alencar Sobreira

FORTALEZA

2023

1 INTRODUÇÃO

Apresentamos o desenvolvimento do produto e sua aplicação. O objetivo principal deste produto, é analisar a velocidade do som no ar com o uso de um tubo sonoro e um diapasão virtual.

Vale a pena abrir aqui um breve parêntese para apresentar outra concepção que enfatiza a necessidade de orientação nas atividades experimentais, proposta pelo filósofo e epistemológico francês Gaston Bachelard (1884-1962). Em seu livro *A formação do espírito científico*, ele critica o efeito “pirotécnico” de algumas experiências de Química apresentadas na França nas décadas iniciais do século XX. Bachelard destaca a importância do professor fundamentar essas experiências, pois, ao contrário, elas seriam lembradas apenas por esses efeitos, que fascinavam os adolescentes. Em resumo,

No ensino elementar, as experiências muito marcantes, cheias de imagens, são falsos centros de interesse. É indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. Quando voltar à experiência, estará mais preparado para distinguir os aspectos orgânicos do fenômeno. A experiência é feita para ilustrar um teorema. (BACHELARD, G. *A formação do espírito científico*. São Paulo: contraponto, 1996.p.50.)

De acordo com a teoria de Vigotski, pode-se considerar pedagogicamente útil toda atividade experimental – a simples realização de medidas, a construção de gráficos, a determinação de constantes físicas, a visualização qualitativa de determinadas propriedades, desde que, por meio dela, o professor possa promover interações sociais que lhe permitam explorar adequadamente os conteúdos previstos no currículo em sua programação. Nesse sentido, apresentamos a seguir quatro indicações que podem orientar a realização de atividades experimentais em sala de aula e no laboratório:

- I. Sua viabilidade;
- II. A escolha do tipo de atividade mais adequada para sua realização;
- III. A seleção dos conteúdos a serem apresentados por meio delas;
- IV. A compatibilização de conteúdos com o tipo de atividade escolhido.

2 OBJETIVO

Viabilidade da realização da atividade experimental

Todas essas condições exigem que o professor teste previamente a atividade e, para isso, é indispensável que procure realizá-la nas mesmas condições em que pretende aplicá-la. Não há nada mais frustrante para o estudante e principalmente para o professor o insucesso na realização de um experimento por causa de sua deficiência de material, falta de tempo ou simplesmente por se tratar de uma atividade mal elaborada, que não funciona.

Escolha do tipo de atividade

A escolha do tipo de atividade depende, principalmente, do material necessário para sua apresentação, montagem ou construção, e do tempo disponível para essa tarefa. Em síntese, podemos considerar três tipos básicos de atividades experimentais que podem ser feitas em sala de aula ou no laboratório:

- I. Demonstração experimental realizada pelo professor ou grupo de alunos;
- II. Atividade experimental realizada em grupos de alunos, por toda classe;
- III. Atividade ou projeto experimental extraclasse realizada por grupos de alunos.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

As demonstrações experimentais são adequadas quando se utilizam aparatos de alto custo, de difícil montagem ou de dimensões relativamente grandes, e quando possível fazê-las em tempo suficientemente pequeno em relação à duração da aula: assim, sobrar tempo para interações sociais proveitosas em relação ao que foi observado.

As atividades experimentais realizadas em grupos de alunos são indicadas quando se utilizam equipamentos simples, que podem ser operados com alguma independência pelos próprios alunos, durante um tempo compatível com a grade curricular.

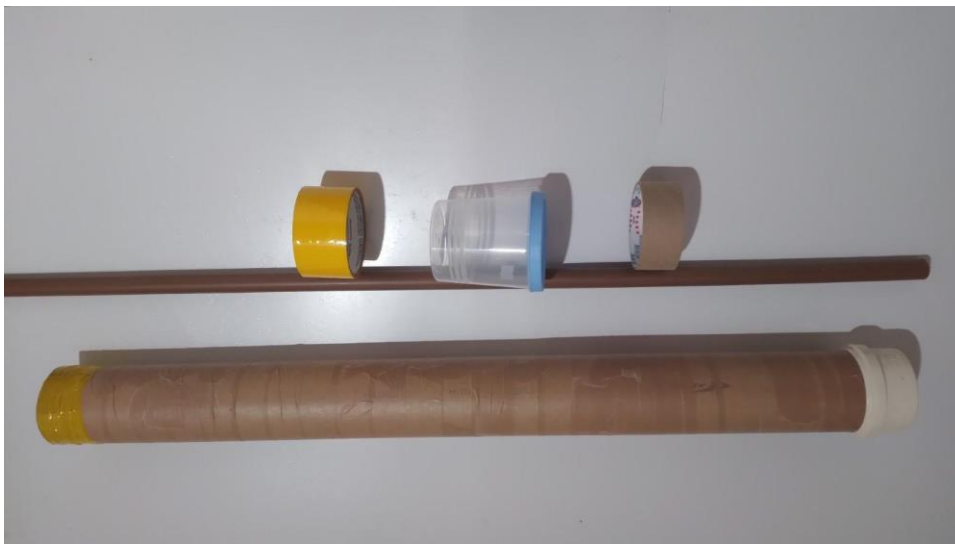
Atividades experimentais de longa duração ou de projetos experimentais mais trabalhosos podem ser realizadas como atividades ou projetos extraclasse. É necessário que o professor oriente e acompanhe sua realização desde o início.

4 MONTAGEM DO PRODUTO

Para a montagem do produto educacional faz-se necessário os seguintes materiais.

- Cano PVC de medida 80 cm
- Uma canaleta (cano fino) de medida 1 m
- Tampa de conexão (Tampa de cano) com o diâmetro necessário para tampar um dos lados do cano PVC de 80 cm
- Suportes de madeira (bases para apoiar o cano PVC)
- Uma tampinha de recipiente plástico com diâmetro compatível para encaixar na região interna do cano PVC de 80 cm
- Um celular smartfone capaz de ter aplicativo diapásão com frequência de 550 Hz ou 450 Hz
- Uma régua de 50 cm
- Fita adesiva

Figura 01: Materiais para a elaboração do experimento.



Fonte: Próprio autor.

Para realizar a montagem é preciso seguir os seguintes passos:

Passo 1: faça um furo na tampa de cano para encaixar a canaleta.

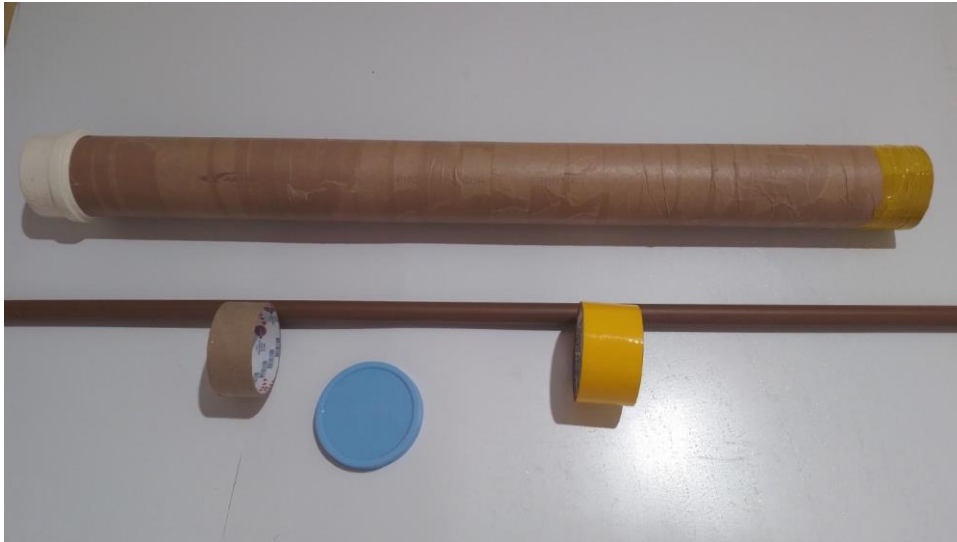
Passo 2: encaixe a tampa de cano no cano PVC de 80 cm.

Passo 3: em uma das extremidades da canaleta, cole a tampinha de recipiente plástico para que possa ficar na parte interna do cano PVC de 80 cm.

Passo 4: passe a fita adesiva nos encaixes para melhorar a fixação.

Passo 5: Monte o Produto educacional.

Figura 02: Montagem do produto educacional.



Fonte: Próprio autor.

Lembre-se: Uma das extremidades do cano PVC deverá ser tampada e a outra extremidade deverá ficar aberta para a propagação do som.

Figura 03: Objeto montado.



Fonte: Próprio autor.

É necessário que o professor auxilie os estudantes no procedimento experimental, principalmente para encontrar a posição correta para realizar a posição (x). Para isso, é preciso perceber onde o som, é reforçado pela coluna de ar (ressonância), ou seja, onde ele é ouvido com mais intensidade. Isso não é tão trivial como pode parecer – esse aumento nem sempre é suficientemente marcante nem de fácil localização; há uma pequena região em que essa posição pode estar e a maioria dos alunos vai precisar da orientação do professor para definir adequadamente essa posição.

5 METODOLOGIA

Esta pesquisa pode ser realizada em turmas que apresentam o assunto de ondas em sua grade curricular. A aplicação da pesquisa poderá ocorrer em sala de aula em laboratório de Ciências (Física). Poderá ser proposto uma Sequência Didática, onde utilizamos um aparato experimental de baixo custo (Tubo sonoro com cano de PVC). Essa pesquisa tem um cunho quantitativo e a análise de dados foi realizada através de um questionário (pré-teste e pós-teste) e um roteiro experimental elaborado pelo professor da respectiva turma. A sequência didática Ensino-Aprendizagem pode ser estruturada de acordo com a Tabela 1 abaixo.

Tabela 2: Etapas do desenvolvimento da sequência didática.

Etapas	Conteúdos	Metodologia e Ferramentas
Apresentação das atividades (50 min)	Ondulatória	Discussão sobre as atividades experimentais
Aplicação do Pré-Teste	Ondulatória	<i>Google Forms</i>
Introdução dos Conceitos: Frequência Sonora, Comprimento de Onda, Velocidade do Som em alguns meios materiais e Número de Harmônicos (50 min)	Ondulatória	Discussão sobre as Ondas Sonoras
Aplicação da prática Experimental	Ondulatória	Avaliação e análise dos relatórios
Aplicação do Pós-Teste	Ondulatória	<i>Google Forms</i>

Fonte: Próprio autor.

Na primeira etapa, separa-se as turmas em equipes. As equipes deverão providenciar os materiais necessários para a realização dos experimentos. Também neste momento, faz-se uma discussão sobre os tipos de propagação da onda que eles conheçam e como são seus respectivos comportamentos, expediente que possibilite levantar os conhecimentos prévios dos alunos.

No decorrer da prática experimental, os estudantes devem manusear o experimento a fim de medir a velocidade do som nos três primeiros harmônicos e anotaram no roteiro experimental com o objetivo obter um valor para a velocidade do som e compará-la com os valores utilizados nos livros texto.

6 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para realizar o procedimento experimental siga as seguintes instruções:

- I. Ligue a fonte sonora (Diapasão) virtual, ele emitirá um som de frequência bem determinada e conhecida que é reforçado pela coluna de ar dentro do cano PVC (primeiro harmônico) quando o êmbolo é movimentado vagarosamente;

- II. Enquanto o som emitido, faça a percepção auditiva, que irá sofrer variação na coluna de ar dentro do tubo sonoro detectando as posições em que o som é ouvido com mais intensidade (1° harmônico, 2° harmônico e 3° harmônico);
- III. Meça à altura h (em cm) da coluna de ar interna ao tubo em que o som foi ouvido com máxima intensidade e anote na tabela 1.
- IV. Realize três medidas de acordo com as medidas de frequências adotadas na tabela abaixo e anote-as na mesma.
- V. Calcule a medida da velocidade do som de acordo com as medidas encontradas.

Por meio dessas medidas de h e conhecendo a frequência do diapasão do som emitido, determine a velocidade do som no ar e anote na tabela 2.

Tabela 2: Dados experimentais obtidos para o comprimento da coluna de ar h , em cm, em cada um dos harmônicos como função da frequência sonora.

Frequência	h_1 (cm) 1° harmônico	h_2 (cm) 2° harmônico	h_3 (cm)* 3° harmônico	Velocidade do som (m/s)
550 Hz				
440 Hz				
330 Hz				

Fonte: Próprio do autor.

*Existe a possibilidade de não ser encontrada a medida do 3° harmônico.

7 QUESTIONÁRIO (QUIS) E PÓS TESTE

Nesta seção são apresentados os quizzes a serem aplicados antes (pré-teste) e depois (pós-teste) da aplicação da etapa experimental.

Tabela 3: Quiz a ser aplicado antes de utilizar a proposta experimental (pré-teste) tratando das propriedades das ondas sonoras.

Perguntas	Respostas
P1. A propagação das ondas envolve, necessariamente:	A) Transporte de energia através do meio. B) Transporte macroscópico das partículas. C) Transporte macroscópico da matéria e da energia.
P2. O comprimento de onda é:	A) A menor distância entre dois pontos quaisquer que estejam sofrendo a mesma deformação. B) A menor distância entre dois pontos sucessivos que estejam sofrendo a mesma deformação. C) Igual a velocidade que a onda percorre em um período.
P3. A frequência fundamental está relacionada ao:	A) Segundo harmônico. B) Terceiro harmônico. C) Primeiro harmônico.
P4. A velocidade do som no ar a uma temperatura de 20°C equivale aproximadamente:	A) 290 m/s. B) 340 m/s. C) 373 m/s.
P5. A velocidade de propagação do som num gás é:	A) Diretamente proporcional à temperatura absoluta. B) Inversamente proporcional à temperatura absoluta. C) Diretamente proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta.
P6. Uma onda estacionária se forma em um tubo devido ao fenômeno:	A) Da reflexão. B) Da ressonância. C) Da difração.
P7. O som é considerado uma onda:	A) Longitudinal. B) Transversal. C) Eletromagnética.

Fonte: Próprio autor.

Tabela 4: Quiz a ser aplicado após utilizar a proposta experimental (pós-teste) tratando da aplicação do produto educacional.

Perguntas	Respostas
P1. Os materiais utilizados na prática experimental foram de fácil acesso?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P2. A montagem experimental foi de fácil acesso?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P3. A prática auxiliou na compreensão dos conceitos de acústica?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P4. Para as posições de h, foi possível detectar os harmônicos com facilidade?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P5. O que você achou da prática experimental?	A) Fácil. B) Difícil. C) Outros.
P6. O valor encontrado no experimento foi compatível com o real?	A) Sim. B) Não. C) Outros.
P7. O aplicativo utilizado como fonte sonora (diapasão virtual) auxiliou na prática experimental?	A) Sim. B) Não. C) Outros.

Fonte: Próprio autor.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- GASPAR, Alberto; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro. **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: Uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky**. *Investigação em Ensino de Ciências, Rio Grande do Sul*, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.
- HELOU, D.; GUALTER, J.B.; NEWTON, V.B. **Tópicos de Física**, vol.2. São Paulo, editora Saraiva, 2012
- LABURÚ, Carlos Eduardo; BARROS, Marcelo Alves; KANBACH, Bruno Gusmão. **A Relação com o Saber Profissional do Professor de Física e o Fracasso da Implementação de Atividades Experimentais no Ensino Médio**. *Investigação em Ensino de Ciências, Rio Grande do Sul*, v. 12, n. 3, p. 305-320, 2007.
- LABURÚ, Carlos Eduardo; BARROS, Marcelo Alves; KANBACH, Bruno Gusmão. **A Relação com o Saber Profissional do Professor de Física e o Fracasso da Implementação de Atividades Experimentais no Ensino Médio**. *Investigação em Ensino de Ciências, Rio Grande do Sul*, v. 12, n. 3, p. 305-320, 2007.
- MATOS, Maria Goreti; VALADARES, Jorge. **O Efeito da Actividade Experimental na Aprendizagem da Ciência Pelas Crianças do Primeiro Ciclo do Ensino Básico**. *Investigação em Ensino de Ciências, Rio Grande do Sul*, v. 6, n. 2, p. 227-239, 2001.
- NUSSENZVEIG, H. M. (1981). **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor (Vol. 2)**. Edgar Bluncher LDTA.
- PERUZZO, J. **Experimentos de física básica: mecânica**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.
- RAMOS, Luciana Bandeira da Costa; ROSA, Paulo Ricardo da Silva. **O Ensino de Ciências: Fatores Intrínsecos e Extrínsecos que Limitam a Realização de Atividades Experimentais pelo Professor dos nos Iniciais do Ensino Fundamental**. *Investigação em Ensino de Ciências, Rio Grande do Sul*, v. 13, n. 3, p. 299-331, 2008.
- VALADARES, E. C. **Física mais que divertida: inventos eletrizantes baseados em materiais reciclados e de baixo custo**. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2012.
- VASCONCELOS, C.; PRAIA, J. F.; ALMEIDA, L. S. **Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da introdução à aprendizagem**. *Revista Psicologia Escolar e Educacional, Campinas*, v. 7, n. 1, p. 11-14, 2003.

VILLANI, Carlos Eduardo Porto; NASCIMENTO, Silvania Sousa. **A Argumentação e o Ensino de Ciências: Uma Atividade Experimental no Laboratório Didático de Física do Ensino Médio**. *Investigação em Ensino de Ciências*, Rio Grande do Sul, v. 8, n. 3, p.187-209, 2003.

YOUNG; FREEDMAN. **Física II**, 12ª edição, termodinâmica e ondas, 2003.