



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

MACKSON KERLLEY FREIRE DA SILVA

**PROPOSTA DE ENSINO DE ONDAS SONORAS COM APLICAÇÃO DE
EXPERIMENTOS SIMPLES EM SALA DE AULA**

FORTALEZA
2022

MACKSON KERLLEY FREIRE DA SILVA

PROPOSTA DE ENSINO DE ONDAS SONORAS COM APLICAÇÃO DE
EXPERIMENTOS SIMPLES EM SALA DE AULA

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional de Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino em física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias

FORTALEZA

2022

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)

S581p Silva, Mackson Kerley Freire da.
Proposta de ensino de ondas sonoras com aplicação de experimentos simples em sala de aula / Mackson Kerley Freire da Silva. – 2022.
114 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias.

1. Ondas sonoras. 2. Experimentos sobre som. 3. Aprendizagem significativa. I. Título.

CDD 530.07

MACKSON KERLLEY FREIRE DA SILVA

PROPOSTA DE ENSINO DE ONDAS SONORAS COM APLICAÇÃO DE
EXPERIMENTOS SIMPLES EM SALA DE AULA

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional de Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino em física.

Aprovada em: 20 de outubro de 2022

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. José Robson Maia
Universidade Federal do Ceará (UECE)

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, José Celso Teixeira da Silva e Maria de Fátima Freire da Silva pelo incentivo e paciência. Vocês foram os pilares da minha formação como ser humano.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Celso Teixeira da Silva e Maria de Fátima Freire da Silva, que desde sempre me incentivaram e frisaram a importância da educação como ferramenta de construção da dignidade e cidadania.

Ao meu orientador o prof. Dr. Nildo Loiola Dias pelo apoio, pela paciência, e todas as correções. Uma fonte de motivação e inspiração como professor e ser humano. Me deu um ânimo para concluir essa etapa importante, com toda paciência e compreensão nos períodos de dificuldades.

Ao meu orientador da graduação o prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva por todos os incentivos que me deu agora também no mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES 001) e ao Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (MNPEF).

Aos colegas de mestrado que muito me ajudaram compartilhando o conhecimento, reflexões, críticas e sugestões.

A todos o meu mais sincero agradecimento.

“Quando algo é importante o suficiente, você realiza, mesmo que as chances não estejam a seu favor.” (MUSK, 2015, p. 3)

RESUMO

Abordamos neste trabalho um método de ensino de ondas através da construção e aplicação de experimentos para alunos em sala de aula. O método foi aplicado em turmas do 1º ano do ensino médio da escola Mariano Martins, localizada no Henrique Jorge, Bairro de Fortaleza – Ce. A partir da utilização de materiais de baixo custo, até mesmo reciclados, foi desenvolvida uma sequência de experimentos referentes a compreensão do estudo das ondas sonoras. Enquanto mentor dessa sequência de experiências, desenvolvi a dissertação na forma de uma pesquisa-ação, apresentando princípios que norteiam o ensino de ondas sonoras aos participantes. A pesquisa envolve a investigação de diversos elementos ligados ao som, bem como a classificação de características de diferentes sons produzidos por diversos meios. Tal trabalho só foi possível com uma busca ativa de trabalhos experimentais no ensino de física, que cada dia apresenta tamanha dificuldade no aprendizado em nossa sociedade. Em nosso referencial teórico, basicamente a partir de Vigotisk, Valon, investigamos respectivamente questões relativas à educação de ciências a partir da utilização de experimentos simples ligados aos subsunçores, de acordo com Ausubel, com a perspectiva de subsidiar uma discussão em torno das atividades pedagógicas de ensino-aprendizagem de física. No que concerne à revisão teórica de física, percebemos uma grande demanda de bons autores para explanar de forma teórica qualquer área do conhecimento da física. A teoria não deixa de ser parte essencial na prática do ensino. Uma vez que é através da base teórica que foi possível desenvolver toda a sequência de experimentos contidos nesse trabalho. No campo do ensino de física, criticamos alguns aspectos do chamado modelo tradicional de ensino, que não procura explorar de forma criativa os diversos fenômenos em torno dos temas relacionados ao ensino de física. Os resultados abrem portas para outras propostas referentes ao ensino/aprendizagem em física e para discussões acerca de políticas públicas de educação de ciências.

Palavras-chave: ondas sonoras; experimentos sobre som; aprendizagem-significativa.

ABSTRACT

We approach in this work a method of teaching waves through the construction and application of experiments for students in the classroom. The method was applied in classes of the 1st year of high school at Escola Mariano Martins, located in Henrique Jorge, Bairro de Fortaleza - Ce. From the use of low-cost materials, even recycled ones, a sequence of experiments was developed regarding the understanding of the study of sound waves. As a mentor of this sequence of experiences, I developed the dissertation in the form of an action research, presenting principles that guide the teaching of sound waves to the participants. The research involves the investigation of different elements linked to sound, as well as the classification of characteristics of different sounds produced by different means. Such work was only possible with an active search for experimental works in physics teaching, which every day presents such difficulty in learning in our society. In our theoretical framework, basically from Vygotsky, Valon, we respectively investigate issues related to science education from the use of simple experiments linked to subsumers, according to Ausubel, with the perspective of subsidizing a discussion around the pedagogical activities of teaching-learning physics. Regarding the theoretical review of physics, we perceive a great demand for good authors to theoretically explain any area of physics knowledge. Theory is still an essential part of teaching practice. Since it is through the theoretical basis that it was possible to develop the entire sequence of experiments contained in this work. In the field of physics teaching, we criticize some aspects of the so-called traditional teaching model, which does not seek to creatively explore the various phenomena around topics related to physics teaching. The results open doors to other proposals regarding teaching/learning in physics and to discussions about public policies for science education.

Keywords: sound waves; sound experiments; searning-meaningful.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Onda longitudinal	23
Figura 2 –	Onda transversal	24
Figura 3 –	Harmônicos em corda de tamanho L.....	27
Figura 4 –	Zona de compressão e rarefação numa onda sonora	29
Figura 5 –	Variação de volume.....	31
Figura 6 –	Tubo aberto e fechado	36
Figura 7 –	Harmônico fundamental e tubo aberto	37
Figura 8 –	Harmônico fundamental e tubo fechado	37
Figura 9 –	Mola Slinky	40
Figura 10 –	Direção de propagação numa onda transversal	41
Figura 11 –	Direção de propagação numa onda longitudinal	42
Figura 12 –	Telefone de copos finalizados.	44
Figura 13 –	Telefone com fio e copo descartável com duas extremidades	44
Figura 14 –	Telefone com fio e copo descartável com 4 extremidades.....	45
Figura 15 –	Ressonância na comunicação de rádio e TV	47
Figura 16 –	Ressonância transmitida entre taças de cristal	47
Figura 17 –	Mecânica do ar no funcionamento da flauta doce.....	49
Figura 18 –	Proveta para dimensionar o tamanho L da coluna de ar do harmônico fundamental	49
Figura 19 –	Confecção do tubo sonoro musical.	51
Figura 20 –	Utilizando o PhET para exemplificar uma onda transversal.....	61
Figura 21 –	Utilizando o PhET para exemplificar uma onda longitudinal.....	61
Figura 22 –	Pulso em corda com extremidade fixa.	64
Figura 23 –	Inversão de fase da onda por reflexão em extremidade fixa.	64
Figura 24 –	Dificuldades encontradas para aplicação de atividades práticas em sala de aula.	67
Figura 25 –	Concepção sobre a relevância do uso de experimentação para a formação docente.	68
Figura 26 –	Concepção dos professores em relação ao preparo durante a graduação para aplicar	68
Figura 27 –	Gosto de Trabalhar com manipulação de materiais e elementos	70

Figura 28 –	Você considera a atividade experimental realizada em sala de aula importante?	70
Figura 29 –	Ao realizar a atividade em sala de aula considerei uma perda de tempo	71
Figura 30 –	Os experimentos ajudam-me a esclarecer os conteúdos teóricos.....	72
Figura 31 –	A atividade experimental em sala de aula pouco acrescentou ao meu conhecimento	72
Figura 32 –	Com a atividade experimental desenvolvi o senso crítico	73
Figura 33 –	Participei da atividade apenas porque fui obrigado.....	73
Figura 34 –	Executei a atividade sem prestar muita atenção	74
Figura 35 –	Entendo os fenômenos físicos que ocorreram na atividade experimental	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Teorias de aprendizagem e suas implicações para o ensino de Física.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA CIENTÍFICA	20
3.1	Ondas harmônicas em meios físicos.....	23
3.2	Interferência e ondas estacionárias.....	25
3.3	Ondas sonoras.....	28
3.4	Velocidade do Som	34
3.5	Ondas estacionárias em tubos sonoros abertos e fechados.....	35
4	ATIVIDADES EXPERIMENTAIS	39
4.1	Experimento 1: Mola Slinky.....	39
4.2	Experimento 2: Telefone com fio e copos.....	42
4.3	Experimento 3: Ressonância em uma taça de cristal.....	45
4.4	Experimento 4: Identificando o primeiro harmônico em tubos sonoros	48
4.5	Experimento 5: Construindo Tubos musicais.....	50
5	MÉTODOS E DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL	54
5.1	Sequência didática.....	54
5.2	Desenvolvimento das atividades.....	58
6	ANÁLISE QUALITATIVA DOS EXPERIMENTOS APLICADOS	67
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
	REFERÊNCIAS	78
	APENDICE A – RELATÓRIO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL SIMPLES	81
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO AVALIATIVO DO EXPERIMENTO REALIZADO A SER PREENCHIDO PELOS ALUNOS.....	82
	APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL	83

1 INTRODUÇÃO

O processo de ensino e aprendizagem que é intrinsecamente relacionado à questão do conhecimento tem estado presente nos discursos sobre a preocupação de como os alunos aprendem, havendo, assim, por parte dos professores uma busca incessante por práticas que possam de maneira exitosa contribuir para um melhor desenvolvimento do trabalho em sala de aula.

Em se falando do ensino de Física, esses desafios são bem evidentes, pois uma boa parte dos nossos alunos, que mesmo imerso em um mundo tão tecnológico, apresentam uma resistência ao ensino das ciências exatas. As dificuldades são diversas, a citar: ensino-aprendizagem ainda muito dependente da figura do docente, baixo nível cognitivo dos alunos, aulas sem comprovações experimentais, aulas que em muitos casos parecem bem distantes da realidade e material didático baseado na memorização de fórmulas.

Dentro deste contexto, o professor, enquanto mediador do processo de ensino-aprendizagem, na busca por práticas que agreguem os conhecimentos prévios dos alunos, com o que é preconizado pelas propostas metodológicas da Base Nacional Comum Curricular – BNCC (2017) vê-se diante da necessidade de oferecer aos seus alunos métodos de aprendizagem significativa, principalmente quando se trata da área das ciências exatas, a exemplo do ensino de Física, o que o leva a desenvolver metodologias criativas com o uso de recursos que se tem a sua disposição.

E este fato, de um ensino contextualizado entre o que preconiza a BNCC (2017) e os conhecimentos prévios dos alunos, sobre determinados fenômenos está relacionado de maneira direta com o fato de que a disciplina de Física está em constante evolução e é necessário ser apresentada cada vez mais de forma dinâmica e com um teor prático de maneira sempre investigativa, para que os nossos discentes consigam superar o preconceito de que a física é uma disciplina difícil e distante dos fatos que o cercam.

Neste sentido o presente estudo tem como objetivo geral trazer uma proposta de produção de experimentos com materiais de baixo custo, ou custo zero, com materiais recicláveis que ajudem os alunos, a aprenderem, de maneira significativa sobre as ondas sonoras, ou seja, uma aprendizagem de cunho significativo por meio da experimentação.

A aprendizagem significativa é proposta por Ausubel (1968) onde o autor destaca que este tipo de aquisição está pautado.

[...] na identificação precisa da estrutura do conhecimento objeto de ensino; na relação entre o novo conhecimento e o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz; na utilização de materiais que poderiam potencializar essa relação; e na hierarquização crescente de problemas, tendo em vista as suas soluções integradoras. (AUSUBEL, 1968)

No que se refere a experimentação, pode-se considerar que este recurso, apesar de sua relevância para o ensino-aprendizagem, ainda se dá, nas escolas, principalmente nas escolas públicas, ainda de modo muito tímida. E, quando há a estratégia do ensino por meio de experimentos, eles acontecem de forma simplista, voltando-se sempre para o quadro negro, deixando assim, lacunas para a problematização, e este fato, está intrinsecamente relacionado as disciplinas das ciências da natureza, a exemplo da Física, reverberando assim, na tendência de uma abordagem conteudista, onde não há a possibilidade de comprovação da teoria através de uma prática disciplinar.

Assim, a relevância do estudo se dá em função de que, é cada vez mais necessário buscar diversos meios que proporcione aos discentes uma aprendizagem mais significativa, de forma clara e objetiva a partir de seus conhecimentos prévios e dos diversos e criativos meios que se tem a disposição, fato que requer, uma busca, que em muitos casos, é a da criatividade e um certo grau de disposição, pois cada dia se faz necessário um ensino mais dinâmico para essa nova geração de adolescentes que crescem em dias cada vez mais tecnológico.

Nesse sentido, o docente a cada dia necessita de um conhecimento do mundo científico cada vez mais prático e ligado com a realidade tecnológica do nosso dia-a-dia para dinamizar as suas aulas, ainda assim, isso pode não ser suficiente para se ter êxito em sala de aula. Em geral, a física é sempre apresentada de maneira robotizada, com uso de expressões prontas, fórmulas, e um modelo já pronto sem muita criatividade. E esses fatos contribuem para um aumento da rejeição do aprendizado de Física.

Os experimentos práticos ligados a criações tecnológicas do nosso dia-a-dia são uma das soluções práticas para reduzir essa rejeição ao ensino de ciências tão existente em nossas escolas hoje em dia. Portanto, práticas experimentais ligadas a instrumentos ligados ao nosso dia-a-dia se faz indispensável nas áreas das Ciências da Natureza.

É de conhecimento dos professores de ciências o fato de a experimentação despertar um forte interesse entre alunos de diversos níveis de escolarização. Em seus depoimentos, os alunos também costumam atribuir à experimentação um caráter motivador, lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos. Por outro lado, não é incomum ouvir de professores a afirmativa de que a experimentação aumenta a capacidade de aprendizado, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas em pauta. (GIORDAN, 1999).

Concordando assim com as várias instruções pedagógicas existente já publicadas até os dias de hoje que fala da ligação entre a teoria e a prática no processo ensino-aprendizagem.

Substituição de aulas verbais por atividades experimentais (FRACALANZA; AMARAL; GOUVEIA, 1987).

[...] constituem um método eficaz nos processos de ensino e de aprendizagem somente, proporcionando situações de investigação e despertando o interesse do aluno pela formação e apreensão do conhecimento (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1992).

Ilustrar um princípio, testar hipóteses ou servir como meio de uma investigação orientada (IZQUIERDO; SANMARTI; ESPINET, 1999).

Tornar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade reconhecida entre aqueles que pensam e fazem o ensino de ciências (GIORDAN, 1999).

A experimentação no ensino de ciências tem sido defendida por diversos autores, pois constitui um recurso pedagógico importante que pode auxiliar na construção de conceitos. (FERREIRA; HARTWIG; OLIVEIRA, 2009)

[...] modificação de concepções, para que os alunos sugiram hipóteses e possíveis soluções aos problemas com os quais se deparam. (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004; HODSON, 1994).

Porém, a falta de estrutura física na maioria de nossos espaços de aprendizagens ligados a dificuldade de reciclagem dos docentes contribui para a não realização de práticas experimentais.

Assim nesse presente trabalho será abordado alguns experimentos com um baixo custo e de fácil construção, mas que tem uma forte conexão com os subsunçores cognitivos da maioria dos aprendizes do segundo ano do ensino médio. Tais experimentos, organizados e pensados de uma forma sequencial lógica, podem auxiliar os professores como um recurso experimental para entendimento de diversos conceitos físicos, mas, especificamente ao ensino de ondulatória.

Nas práticas mostradas, sons produzidos por diversos instrumentos são reproduzidos através de um conjunto de materiais de baixo custo e de forma bem simples.

Dentro deste contexto, pode-se considerar que a Física está em constante evolução e é necessário ser apresentada cada vez mais de forma dinâmica e com um teor prático de maneira sempre investigativa, para que os nossos discentes consigam superar o preconceito de que a física é uma disciplina difícil e distante dos fatos que o cercam. Neste sentido este material traz uma proposta de criação de um conjunto de experimentos que ajude

os alunos a aprender um pouco sobre as ondas sonoras.

Estas atividades tiveram origem na Escola de ensino Profissional Juarez Távora, em Fortaleza-CE. Tudo se iniciou, como é comum, com aulas teóricas abordando o assunto em destaque, em seguida os alunos foram levados para o pátio e foram realizados alguns experimentos para demonstrar as qualidades específicas das ondas de som.

Assim abordamos e especificamos algumas características fisiológicas do som. Características essas percebidas com a interação livre das ondas sonoras e o ouvido humano, essa atividade foi fundamental para uma introdução teórico-prática para um primeiro contato visando a diferenciação por parte dos alunos das características: altura, intensidade e timbre das ondas sonoras.

Em seguida, instrumentos experimentais, foram construídos em sala com os alunos, a partir do planejamento proposto na dissertação, de uma forma a obter características das ondas sonoras como a frequência, comprimento de onda, velocidade do som, entre as quais são necessários para o estudo da onda sonora.

O experimento proposto foi construído com material de baixo custo, e o produto aplicado será uma sequência didática que trará a possibilidade de uma aprendizagem, por meio das práticas experimentais em sala de aula.

Portanto, o produto educacional apresentado, tem como objetivo levar para os alunos da disciplina de Física, a compreensão de que a referida disciplina, apesar de se apresentar no imaginário destes como uma aprendizagem de difícil aprendizado, o professor como protagonista de um ensino lúdico, poderá levar para a sala de aula um satisfatório aprendizado, proporcionando, assim, ao ensino de Física o que ele realmente é, ou seja, a compreensão da natureza.

Para tanto, a pesquisa, está estruturada em sete capítulos, iniciando-se com uma introdução, capítulo 1, com uma introdução para apresentar o trabalho. Capítulo 2, onde será abordado a fundamentação teórico pedagógico, que trarão algumas perspectivas teorias de aprendizagem e suas implicações para o ensino de Física, bem como fundamentos de aprendizagem através de experimentos. Explana-se a fundamentação teórica com a exposição dos autores que tratam do objeto do estudo, ou seja, as teorias de aprendizagem e suas implicações para o Ensino de Física. O capítulo 3 apresenta a base teórica em Física que trata sobre os fenômenos relacionado as ondas sonoras e a acústica.

No capítulo 4, apresenta-se os experimentos proposto, e sugestões de procedimentos para ajudar aqueles que desejarem usar experimentos no ensino de ondas sonoras. Procedimentos que estarão sempre atrelados a aulas e demonstrações teóricas.

procedimentos relatando os resultados obtidos após a aplicação em sala de aula. O capítulo 5 uma sugestão de métodos e desenvolvimento da atividade experimental. Onde serão apresentados os materiais e métodos para que se possa atingir o objetivo da pesquisa, que é a criar uma proposta de aulas com experimentos utilizando materiais de baixo custo.

No capítulo 6 será feita uma análise qualitativa dos experimentos aplicados sobre a aplicação do produto educacional descrito mencionado. Bem como a apresentação de dados colhidos através de uma pesquisa online usando o google sala de aula. Tal ferramenta foi um canal fundamental na organização dessa parte do trabalho, possibilitando o envio e recebimento dos dados que balizaram a pesquisa. A presente pesquisa teve como foco de análise verificar o impacto do uso de experimentos no ensino-aprendizado.

E por fim, no capítulo 7 fizemos as considerações finais, mencionando como a pesquisa pode impactar na melhoria do ensino dessa grande e bela arte das ciências naturais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Teorias de aprendizagem e suas implicações para o ensino de Física

O presente capítulo versa sobre as teorias de aprendizagem e, de como a explanação e desenvolvimento de experimentos podem contribuir para o desenvolvimento cognitivo do aluno quando do estudo das ciências da natureza, especificamente no ensino-aprendizagem da Disciplina de Física.

Para tanto, deve-se considerar que na contemporaneidade, com o avanço das tecnologias da informação, principalmente no ambiente da escola, cada vez mais o conhecimento é expandido por meio dessa tecnologia, através de aulas dinâmicas nos celulares ou computadores de maneira que os alunos em um dado momento já vivenciaram algo no seu dia a dia que estivesse relacionado com a disciplina estudada. Ou seja, há no seu cognitivismo a reconfiguração daquilo que ele já sabe.

Esse saber, no entanto, ainda está pautado pelo senso comum, havendo, neste momento a necessidade da cientificidade do assunto abordado. Assim, há que se considerar que o aluno, mesmo que este não tenha o total conhecimento de algum fenômeno, quando apresentado na disciplina de Física disposto pela teoria, ao vislumbrar a explicação do professor, nesse momento, irá reconhecer o fenômeno como parte de algum momento da sua vida.

Para tanto, importante destacar que essa relação está ligada a uma aprendizagem da qual Ausubel (1918-2008) denominou de aprendizagem significativa. Moreira (2012, p. 2) destaca que:

A aprendizagem significativa ocorre quando ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não arbitrária com aquilo que o aprendente já sabe. que *substantiva* significa não literal e que *não arbitrária* indica um conhecimento relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende, denominado por Ausubel, como *subsunção* ou ideia-âncora.

Moreira (2012) esclarece que, a ocorrência de um conhecimento prévio, em muitos casos pode ser considerada como bloqueador da aprendizagem, desde que a ideia âncora deste conhecimento esteja pautada em conhecimentos e concepções derivadas, por exemplo, do senso comum.

Para Ausubel (2003) o estabelecimento de condições para que haja de fato a ocorrência da aprendizagem significativa, dentre as quais são citadas pelo autor que “o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo” o aprendiz deve sentir predisposição

para aprender.

Nesse sentido, pode-se perceber que para ser potencialmente significativo, o material de aprendizagem deve estar pautado no querer saber do aprendiz, e não buscar, simplesmente, memorizar um conteúdo, isto é, permanecer no âmbito da repetição mecânica, cabendo ao sujeito atribuir significado ao que lhe é apresentado. Assim, Ausubel (2003) relata que “o material potencialmente significativo é aquele capaz de dialogar, de maneira apropriada e relevante, com o conhecimento prévio do estudante”.

De acordo com Valério (1999), a Teoria de Ausubel prioriza a Aprendizagem Cognitiva, ou seja;

A integração do conteúdo aprendido numa edificação mental ordenada, a Estrutura Cognitiva, a Aprendizagem Significativa é preferível a Aprendizagem Mecânica, ou arbitrária. Pois constitui um método mais simples, prático e eficiente. Muitas vezes um indivíduo pode aprender algo mecanicamente e só mais tarde percebe que este se relaciona com algum conhecimento anterior já dominado. No caso ocorreu então um esforço e tempo demasiado para assimilar conceitos que seriam mais facilmente compreendidos se encontrassem uma "âncora", ou um conceito subsunçor, existente na Estrutura Cognitiva.

Percebe-se, portanto que, a aprendizagem significativa se pressupõe contrária obviamente, a aprendizagem mecânica, ou seja, a aprendizagem mecânica em Ausubel, (1980) representa uma incorporação não substantiva de novas informações. Ela é apenas memorística e, normalmente, não traz significação ao aprendiz. Resulta em uma aplicação mecânica dos conteúdos e não demanda compreensão por parte do educando. Infelizmente é, muitas vezes, incentivada nas escolas, e os alunos acabam por recorrer a ela; aprende-se por decoreba, ou seja, mecanicamente, decora-se alguns conteúdos para passar de série, para ficar livre de determinada matéria, para ter uma boa nota.

Portanto, tamanha é a importância da questão da aprendizagem significativa nas aulas das ciências da natureza. E, este fato se dá, de acordo com Moreira (2008), “na sala de aula, onde os professores devem trabalhar com os organizadores prévios quando utilizarem da aprendizagem significativa com seus alunos”. O autor continua explanando que, os organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material da aprendizagem em si.

No que se refere a aprendizagem por experimentos, para Vygotsky a aprendizagem está ligada ao processo de desenvolvimento e precisa ser mediado por alguém com uma experiência mais amplificada, que transmitirá o novo conhecimento de uma forma verbal ou não, uma vez que, a criança, se apropriará das aptidões inerentes ao objeto e aprenderá a utilizá-lo para a finalidade a qual o mesmo foi criado. O que significa dizer que, ao entrar em contato com um lápis, por exemplo, e tendo esse

contato mediado por um adulto, a criança passará a utilizá-lo para seu fim, ou seja, escrever, desenhar. Segundo Vygotsky (2003, p. 45).

O processo de aprendizagem pode ser espontâneo (observação) ou intencional (o professor). Portanto, é esse processo de apropriação que desencadeia o desenvolvimento histórico da humanidade para gerações seguintes. O homem necessita dos outros homens para aprender a constituir-se em seres humanas com inteligência, personalidade e consciência.

Na aprendizagem através de experimentos, tem-se que o desenvolvimento da inteligência está relacionado às funções psíquicas da pessoa, como, por exemplo, a linguagem oral, o pensamento a memória e o cálculo. Essas funções na teoria de Vygotsky se desenvolvem no interior da criança em nível intrapsíquico, para uma melhor compreensão desse desenvolvimento da inteligência em Vygotsky é preciso uma referência ao que ele denominou de zona de desenvolvimento proximal. Que segundo Vygotsky (2003, p. 43).

A zona proximal corresponde às funções que estão em maturação no indivíduo. O desenvolvimento real, no qual a criança faz suas coisas com independência, retrata o amadurecimento consolidado, ao passo que aquelas tarefas realizadas com ajuda dos outros apontam para o desenvolvimento mental que pode ser adquirido. A zona proximal revelaria a dinâmica do processo de desenvolvimento, prevendo o resultado a ser obtido quando o conhecimento foi assimilado. Ela revela o desenvolvimento real futuro, aquilo que uma criança será capaz de fazer sozinha, depois de internalizar o aprendido. Destarte, é possível prever o desenvolvimento de uma pessoa ao observar essa diferença entre o que ela faz e o que pode fazer.

Dentro deste contexto, as atividades com ênfase em experimentos, se configuram como um importante recurso de estratégia didática, uma vez que proporciona ao ensino-aprendizagem uma ambientação para que se desenvolvam abordagens representativas da disciplina de Física. Assim, para Carvalho *et al* (2005, p. 34):

Algumas das contribuições atribuídas às aulas experimentais estão diretamente ligadas a aspectos informativos e habilidades cognitivas privilegiadas no ensino em geral, tais como: o aprendizado de conceitos científicos, quer seja relembrando conceitos, confirmando fenômenos científicos estudados no plano teórico, ou ainda aprendendo novos conceitos em respostas aos problemas propostos ou que surgem na aula experimental; o aprimoramento da capacidade de observação e registro de informações, através das anotações realizadas pelos estudantes sobre os eventos ocorridos durante a atividade.

Portanto, têm-se dentro das atividades experimentais várias contribuições dentre as quais citam-se os aspectos formativos, preparação para a cidadania, visto que esse recurso desenvolve a capacidade de trabalho em grupo, favorecendo as habilidades quanto a divisão de tarefas e principalmente a troca e negociação de ideias.

Assim, a partir do capítulo 3, têm-se o estabelecimento do desenvolvimento de teorias específicas sobre o objeto do presente estudo, ou seja, uma proposta de ensino de ondas sonoras com aplicação de experimentos em sala de aula, tendo em vista sua origem, o movimento harmônico, e com destaque maior para as ondas sonoras, as ondas sonoras estacionárias em um tubo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA CIENTÍFICA

Nesta parte do trabalho faremos uma análise bibliográfica acerca de alguns autores que contribuíram para o ensino de ondulatória através de abordagens práticas, utilizando-se de algum mecanismo experimental. Também iremos estabelecer uma base da física ondulatória tendo em vista sua origem, o movimento harmônico, e com destaque maior para as ondas sonoras estacionárias em um tubo.

Nessa parte do trabalho buscou-se autores que corroboram com a ideia de que práticas experimentais auxiliem na implementação de novas estratégias para promover uma aprendizagem significativa em tópicos de Física Ondulatória e que podemos fazer uso de aparatos da tecnologia, musical ou até mesmo computacional, para nos auxiliar em tal tarefa. Aqui ficou notório várias publicações em artigos, periódicos, dissertações que estivessem relacionados à Física Ondulatória, à Física de instrumentos musicais, à utilização de computadores e outras tecnologias em ensino de Física, como também aqueles que estivessem relacionados à Educação por meio da utilização de atividades experimentais. Com destaque para o presente trabalho, selecionou-se algumas citações em periódicos de ensino de Ciências que mais se relacionaram com o nosso tema. Algumas revistas a citar foram: Experiências em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Investigações em Ensino de Ciências, Ciência & Educação, Revista Brasileira de Ensino de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia. Além dos artigos, encontramos duas dissertações que foram fundamentais para nosso trabalho. Utilizando-se os diversos temas, acima citados, como bases de nossa procura por trabalhos já publicados neste campo de estudo, encontramos por fim, um total de sete artigos científicos e duas dissertações. Estes foram analisados de maneira a destacar as bases teórico metodológicas deste trabalho de pesquisa.

Por exemplo, em se tratando de Física Ondulatória: Instrumentos Musicais e Ensino de Ciências, Kandus et.al (2006) têm como objetivo aproximar a música, assim como costumes de artes maciais e dança (como no caso da capoeira) a conceitos em Física Ondulatória. Procuram identificar conceitos físicos como ressonância, harmônicos e ondas estacionárias no instrumento musical chamado berimbau, por se tratar de um instrumento em rodas de capoeira. Estabelecendo as relações existente entre o funcionamento do berimbau, abordando de uma maneira detalhada com equações, figuras e análises físicas de forma análoga a outros instrumentos como violão.

Este instrumento musical, que é atualmente componente fundamental da prática da capoeira, é formado por um galho roliço onde estica-se um arame formando um arco que tem, em uma de suas extremidades, uma cabaça. Esta cabaça faz o papel de “caixa de ressonância” para as vibrações produzidas no arame. O comportamento do arame é assim o mesmo de uma corda fixa nos dois extremos. Quando fazemos o arame vibrar puxando-o ou percutindo-o, observamos que a vibração desaparece com certa rapidez. Isso é devido à ação das forças dissipativas: o atrito elástico no interior da corda e também as forças que colocam ligeiramente em movimento vibratório o que a estiver prendendo em seus pontos fixos. Apenas parte dessa perda de energia é realmente convertida em energia ondulatória sonora. Uma corda que vibra, fixa em extremos rígidos, produz apenas um som fraco: a maior parte da energia de vibração desaparece na forma de energia de atrito (calor). A conversão em energia ondulatória sonora pode ser melhorada conectando-se ou instalando-se a corda junto a uma caixa de propriedades elásticas especiais, chamada de ressoador (a caixa de ressonância do piano, ou o corpo do violão, ou a cabaça do berimbau). (KANDUS, 2006)

Essa Associação entre o berimbau, instrumento utilizados nas rodas de capoeiras conhecido no Brasil, e o princípio de funcionamento semelhante à de outros instrumentos de corda, fornece informações que embasaram metodologicamente nosso trabalho. Viabilizando em termos mais práticos a identificação de conhecimentos prévios dos alunos, os subsunçores (Ausubel, Novak e Hanesian - 1978). Evidente também quando ele cita a vibração da corda e à amplificação de seu som, visto o fato de ser um instrumento simples, comparado a um violão ou violino.

Na análise física-científica do instrumento acerca do fenômeno sonoro, o autor destaca a relação proporcional entre densidade e pressão, no caso particular de uma onda acústica senoidal num gás.

No caso particular de uma onda acústica senoidal num gás, temos que a densidade é proporcional à pressão. A descrição em termos da pressão é preferível à descrição em termos da densidade, já que os deslocamentos são em geral muito pequenos e difíceis de medir na prática. Por outra parte, as variações de pressão são muito mais fáceis de visualizar e de medir, além do que são elas as detectadas pelos nossos ouvidos. (KANDUS, 2006)

Obviamente, deve-se ressaltar que tal descrição, em termos de pressão e densidade, deve ser realizado junto aos alunos num primeiro momento, pela maior facilidade demonstrada nos diálogos, para se perceber a variação da pressão. Utilizando-se de experimentos simples como o estourar de um balão da produção de som ou a utilização do PHET, como demonstrado também neste trabalho; contudo, não deixamos de fazer uma análise do fenômeno ondulatório, sonoro, com enfoque na densidade do gás e com o auxílio de vídeos, mecanismo que podem diminuir a abstração exigida dos alunos para o entendimento da compressão e rarefação do gás conforme defendido aqui no presente trabalho.

Nesse mesmo contexto, assim como no artigo de Kandus, 2006 no qual é feita uma

análise dos instrumentos relativamente mais simples, o berimbau, outros autores fazem com instrumentos de caráter mais elaborados como no caso de Donoso, 2008 que faz uma apurada descrição geral da física do violino, um instrumento musical, classificado como Instrumento de cordas ou cordofone. Onde, o autor analisa os conceitos que lhes dão sustentação física e que demonstra toda a riqueza e a capacidade pedagógica da utilização de um instrumento em sala de aula. É feita explanação de todos os componentes do instrumento, utilizando-se de imagens equações e análises qualitativas, onde também aqui, temos uma ampliação do nosso leque de possibilidades de ideias, especialmente na produção de nosso material a ser aplicado em sala.

Ainda, mais uma vez Donoso et.al.(2008) descreve uma análise rica do instrumento, análise das cordas e crina do arco, a força estática, tensão e elasticidade das cordas, modos de vibração dos tampos e do corpo, o movimento ondulatório da corda, características do som do violino e medição de frequências.³

[...]uma forma de onda que produz um espectro de som rico em harmônicos. A análise espectral do som do violino ao se tocar a corda Sol por exemplo, revela a presença de cerca de 15 harmônicos intensos. Sons com muitos harmônicos soam cheios e musicalmente mais ricos. No violino, estes harmônicos são afetados pelas respostas acústicas do cavalete e do corpo do instrumento. Como mencionado anteriormente, o cavalete possui dois modos normais de vibração, ou ressonâncias, em 3000 Hz e 4500 Hz.(DONOSO, 2008)

Nos atentamos bastante as referências feitas a parte de ressonância, principalmente pelo fato de usarmos neste presente trabalho. Ainda, algumas referências de aprofundamento sobre características físicas e acústicas do violino são apresentadas, também, no material de apoio ao professor com base nesta referência. Que mais uma vez apresentou ideias de como trabalhar com as características físicas dos tubos sonoros produzidos nesta pesquisa. Foi muito proveitoso tais pesquisas, pois, os autores defendem a utilização do conhecimento aqui trabalhado como motivador para diferentes apresentações didáticas. Sempre apresentando um elo bastante forte entre a música e a física.

Os efeitos de difração e outras formas de interferência nos ramos da acústica foram introduzidos nos modelos teóricos apenas recentemente, o que deu lugar a interessantes desenvolvimentos nos dispositivos destinados à reprodução de sons gravados, popularmente conhecidos como “caixas acústicas”. O elo entre a física e a música constitui um importante fator motivador para o aprendizado, pois estimula os estudantes a encararem a física através de uma visão mais ampla e interdisciplinar. Acreditamos também que o ensino da física dos instrumentos musicais em cursos de formação de professores de Ensino Médio contribuíra para abordagem didáticas mais ricas e abrangentes. A aproximação entre ciência e arte presente neste artigo oferece uma experiência desafiadora e possibilitam uma discussão estimulante para estudantes e professores. (DONOSO, 2008)

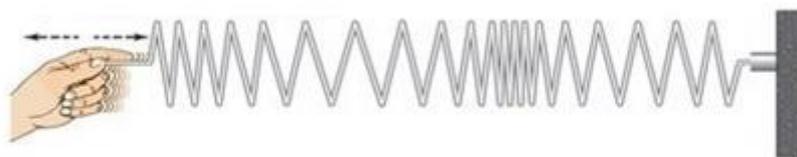
Estas publicações encontradas, tendo como tema central o uso de instrumentos do dia-a-dia para análise da Física Ondulatória foram de suma importância para o desenvolvimento do trabalho aqui escrito. Vale destacar que, poucos foram os trabalhos que apresentaram uma fundamentação teórica focado no ensino-aprendizagem. E outra maioria, não utilizados, fazem uma análise técnica e pouco voltada para o tema educacional.

3.1 Ondas harmônicas em meios físicos

De modo geral, a maioria das pessoas parecem estar familiarizadas com o conceito de onda. Como as ondas do mar, ondas numa corda de violão, ondas numa mola, etc... estabelecendo bases para formação do senso comum a respeito da descrição das características de uma onda. No entanto, sua conceituação, não estar preso somente a estes fenômenos. Num sentido bastante amplo, uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio, com velocidade definida. NUSSENZVEIG, 2002, p. 98. Transportando energia e momento, como se pode observar acompanhando um objeto flutuante na superfície da água que, ao ser atingido por uma crista ou pelo vale de uma onda, se move na direção vertical, para cima e para baixo, sem ocorrer deslocamento horizontal, após a passagem da onda como um todo. Portanto, onda é qualquer perturbação que se propaga no meio físico material ou no vácuo, transportando energia, sem transportar matéria e pode ser transversal ou longitudinal.

Os primeiros telefones foram criados com os fundamentos da mecânica clássica, utilizando transmissão do som por tubos ou outros meios físicos. Entre os experimentos estudados estão presentes os do físico Robert Hooke (1635-1703). Entre as experiências, realizados entre 1664 e 1665, ele sugeriu que a transmissão do som poderia ser efetuada através de um fio esticado. Esse fenômeno ocorre pelo fato de as ondas sonoras serem ondas mecânicas longitudinais como ilustrado na Figura 1, ou seja, as oscilações acontecem na direção de propagação da onda, diferentemente das ondas transversais onde as oscilações são perpendiculares à direção da propagação como na Figura 2.

Figura 1 - Onda longitudinal



Fonte: Explicatorium (2008, p. 20).

Figura 2 - Onda transversal



Fonte: Explicatorium (2008, p. 20).

A onda representada na Figura 2 pode ser representada de acordo com as bases matemáticas do movimento harmônico simples (MHS). Digamos que a onda na Figura 2 adquira uma frequência f e amplitude A bem definida, de modo que a ponta presa a corda tenha a posição $y(t)$ em função do tempo t dado pela função do oscilado Harmônico simples:

$$y(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (3.1.1)$$

Sendo, A , a amplitude do oscilador, ω é a frequência angular e ϕ a constante de fase.

Na Figura 2 a oscilação se dá na direção y e na Figura 1 na direção x .

Faremos uma análise, da onda, a partir de agora como sendo uma onda transversal. Logo, a posição $y(x,t)$ em função do tempo, de qualquer ponto x da corda podendo ser expresso como:

$$y(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (3.1.2)$$

Sendo, k o número de onda que indica a quantidade de comprimentos λ em um determinado comprimento, $k = 2\pi/\lambda$. E $\omega = 2\pi f$. O termo $kx - \omega t + \phi$ é chamado de fase da onda. A equação também é chamada de equação da onda senoidal.

Assim sendo fixado um ponto qualquer em Y , como um ponto de crista, e acompanharmos a velocidade dele, podemos determinar a velocidade da onda. Que neste caso é encontrada considerando que a fase da onda não muda no tempo para um observador que se move com a mesma velocidade da onda ou velocidade da fase da onda. Assim, considerando $y(x,t)$ constante, implica que $A \sin(kx - \omega t + \phi)$ também será constante. Logo, o argumento do seno também será um valor constante. Assim aplicando o operador diferencial dos dois lados temos

$$\partial(kx - \omega t + \phi) = 0 \quad (3.1.3)$$

$$k\partial x - \omega\partial t = 0 \quad (3.1.4)$$

$$k\partial x = \omega\partial t \quad (3.1.5)$$

$$\partial x / \partial t = \omega / k \quad (3.1.6)$$

Reconhecendo a derivada temporal da posição x como a velocidade podemos escrever

$$v = \omega / k \quad (3.1.7)$$

Substituindo $k = 2\pi/\lambda$ e $\omega = 2\pi f$ na expressão 3.7 podemos chegar na equação da velocidade de fase da onda

$$v = \lambda f \quad (3.1.8)$$

Assim, observamos que a velocidade v da onda sonora depende da frequência f e do comprimento da onda λ . A velocidade também depende do meio de propagação, da temperatura do meio e da pressão. Como abordado no próximo tópico.

3.2 Interferência e ondas estacionárias

Princípio de superposição

É comum a passagem de duas ou mais ondas simultaneamente pelo mesmo local. Quando ouvimos uma apresentação de uma banda musical ao vivo, por exemplo, as ondas sonoras dos vários instrumentos chegam simultaneamente aos nossos ouvidos. Tendo em vista a abordagem da equação para ondas mecânicas harmônicas feitas na secção 3.1, podemos afirmar que o princípio de superposição é uma combinação linear de duas ou mais ondas em um meio linear. Como é explicado por (HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. - 2012) se duas ondas estão, se propagando, em direções opostas em um mesmo meio e tiverem a mesma frequência, comprimento de onda e amplitude, em fases, pode-se expressar suas funções através de duas ondas individuais $y_1(x,t)$ e $y_2(x,t)$ como:

$$y_1(x,t) = A \sin(kx - \omega t) \quad (3.2.1)$$

E

$$y_2(x,t) = A \text{ sen}(kx + \omega t) \quad (3.2.2)$$

Como elas são idênticas, mas com velocidade opostas podemos somar algebricamente as duas ondas

$$y_1(x,t) + y_2(x,t) = A \text{ sen}(kx - \omega t) + A \text{ sen}(kx + \omega t) \quad (3.2.3)$$

Como

$$\text{sen}(\alpha + \beta) = 2 \cos(\alpha - \beta)/2 \text{ sen}(\alpha + \beta)/2 \quad (3.2.4)$$

temos

$$y(x,t) = [2A \text{ sen}(kx)] \cos(\omega t) \quad (3.2.5)$$

Como expresso na equação 3.10, ondas superpostas se somam algebricamente para produzir uma outra como está destacado no próprio nome, princípio da superposição, segundo o qual vários efeitos ocorrem simultaneamente, e o efeito final é a soma dos efeitos individuais. Logo, como o efeito nos diz, ondas superpostas não se afetam mutuamente.

Assim, na equação 3.10, observando o termo entre colchete que é a amplitude de oscilação, pode-se observar que essa é uma onda que não é progressiva e que a amplitude tem um caráter variável no tempo. Logo, cada ponto da onda é um oscilador com amplitude variável, definido pela parte em colchetes da equação. Assim, “se duas ondas senoidais de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda se propagam em sentidos opostos em uma corda, a interferência mútua produz uma onda estacionária” (HALLIDAY E RESNICK, 2009).

Outro detalhe bastante interessante de destacar é que a amplitude máxima em cada ponto da onda varia com a posição, e ainda que a amplitude é nula em alguns pontos. Por exemplo, fazendo

$$kx = n\pi \quad \text{para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.2.6)$$

Usando $k = 2\pi/\lambda$, encontra-se o ponto onde a amplitude é anula, ou seja, o nó da onda estacionária em termos do comprimento de onda.

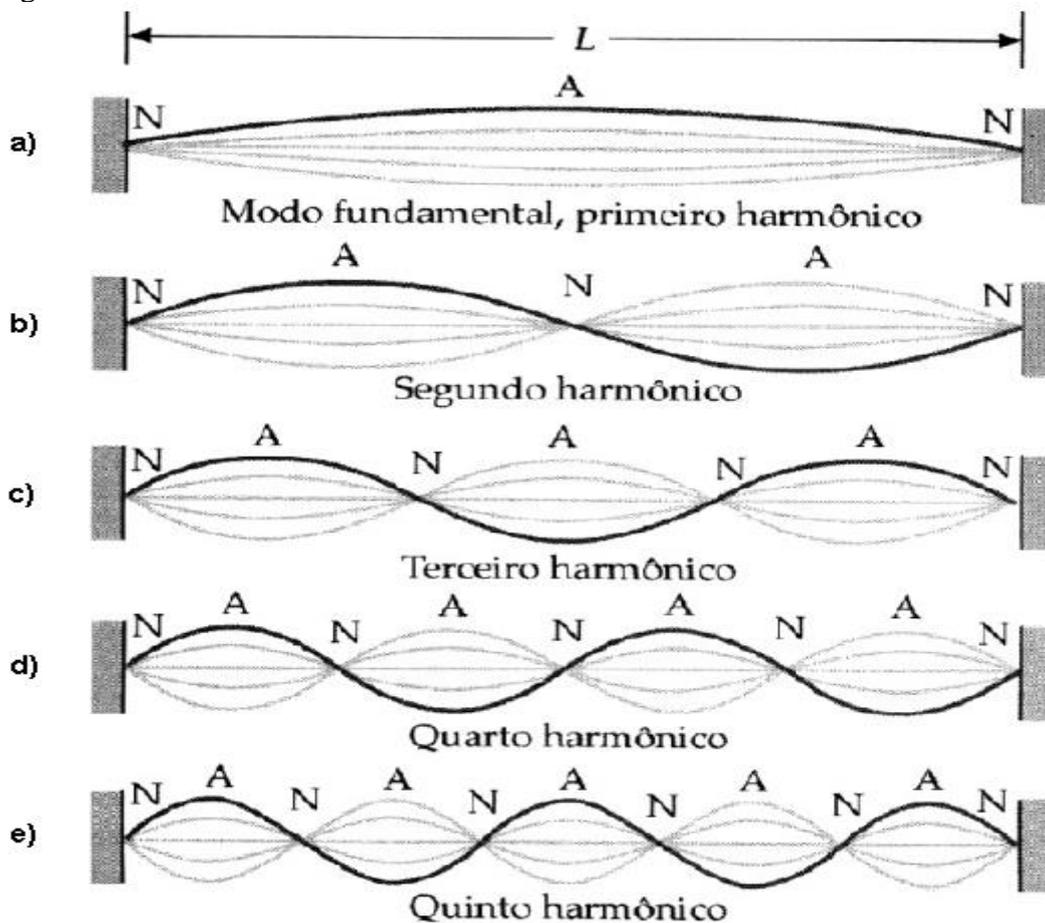
$$x = n\lambda/2 \quad \text{para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{nós}) \quad (3.2.7)$$

Ainda vale ressaltar que existe pontos da onda estacionária onde a amplitude da onda tem um valor máximo $2A$, que ocorre para valores de kx o qual $|\text{sen } kx| = 1$. Esses pontos são chamados de antinós, e estes serão os valores para x , tal que

$$x = (n + 1/2) \lambda/2 \quad \text{para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.2.8)$$

Desse modo podemos, a partir de agora pensar sobre os modos possíveis de vibração em uma corda qualquer de tamanho L como esquematizado na Figura 3. Indicando por “ n ” o número do modo vibracional, podemos observar que existe um padrão de comportamento entre o comprimento da corda L e o comprimento de onda λ .

Figura 3 - Harmônicos em corda de tamanho L



Fonte: Silva (2019)

Observamos que em (a) $L = \lambda/2$, em (b) $L = \lambda$ e em (c) $L = 3\lambda/2$ e assim por diante sempre obedecendo a seguinte expressão matemática

$$L = n \lambda/2 \quad \text{para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.2.9)$$

Ou

$$\lambda = 2L/n \quad \text{para } n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.2.10)$$

Quando substituído o valor de λ na equação da velocidade de uma onda $v = \lambda f$ equação (3.8) podemos observar as frequências permitidas para os chamados modos vibracionais

$$f = n v/2L \quad \text{para } n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.2.11)$$

Portanto, os chamados modos vibracionais, harmônicos ou as frequências naturais são frequências quantizadas associadas à vibração de uma corda com extremidades fixas.

3.3 Ondas sonoras

As ondas sonoras, ou popularmente conhecida como “som” audível, é bastante familiar ao senso comum.

O fato de que corpos em vibração produzem sons é familiar na experiência cotidiana. Para que o efeito atinja nossos ouvidos, ele precisa ser transmitido através de um meio material. O som de uma campainha tocando dentro de um recipiente no qual se produz vácuo deixa de ser ouvido, conforme observado por Robert Boyle em 1660.

O som se propaga em fluido, tanto atmosfera como em líquidos: sons continuam audíveis debaixo da água. Também se propaga em sólidos: Colocando o ouvido a terra, pode-se detectar um tropel de cavalo distante. Oscilações harmônicas podem produzir sons audíveis pelo ouvido humano somente num intervalo limitado de frequência, aproximadamente entre 20 Hz e 20 KHz (Um bom aparelho de som deve ser capaz de reprodução fiel dentro dessa faixa).

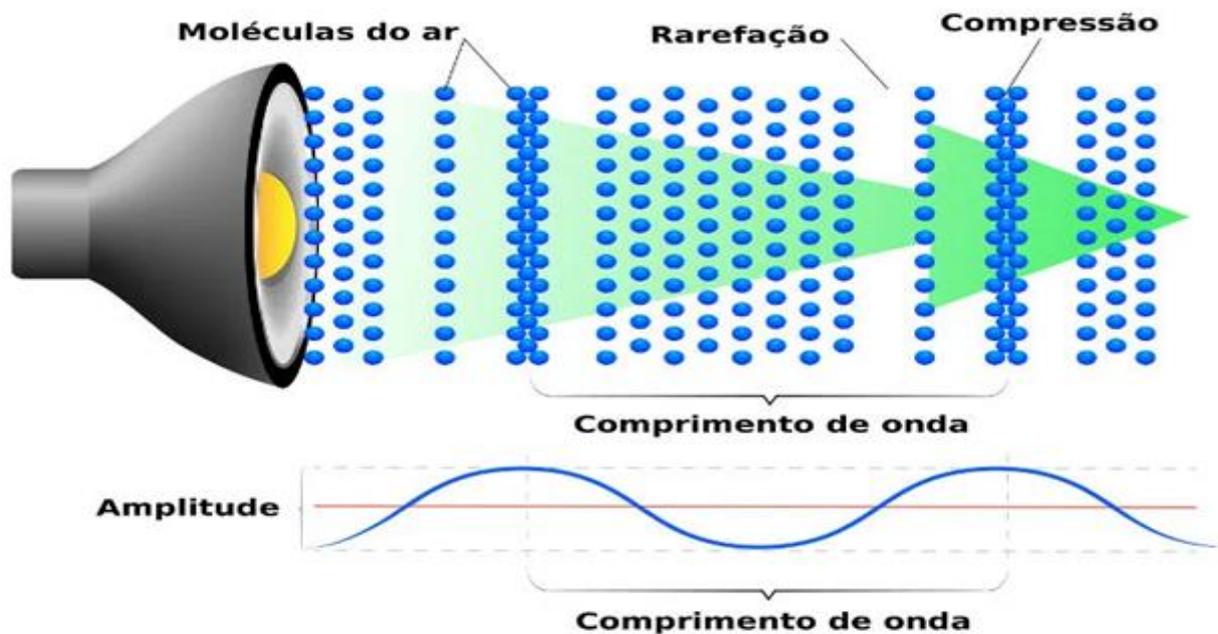
O fato de que o som se propaga através de um meio material, sem que aja transporte de matéria de um ponto a outro, já é uma indicação de sua natureza ondulatória. A velocidade finita de propagação do som é evidenciada pelo intervalo de tempo decorrido entre o clarão de um relâmpago e o ruído do trovão que o acompanham. A reflexão do som também é efeito familiar, manifestado na produção de ecos.

Efeitos tipicamente ondulatório obtidos com o som incluem efeito de interferência, tais como os batimentos, e também de difração. (NUSSENZVEIG, 2002)

Onda sonora pode ser definida genericamente como qualquer onda longitudinal. As ondas mecânicas precisam de um meio físico material para se propagar. Ao tocarmos um diapasão ou uma corda de um violão ou qualquer mecanismo que cause uma perturbação nas partículas do ar, ocorre uma vibração dessa massa gasosa. Podemos dizer que ocorre uma variação na massa específica de ar de um ponto para outro e de um instante de tempo para outro. As regiões de massa específica mais elevada são chamadas de compressões e as regiões de

massa específica menor são conhecidas como de rarefações. As regiões de compressões possuem maior concentração de moléculas de ar do que as rarefeitas. Como podemos ver na Figura 3

Figura 4 - Zona de compressão e rarefação numa onda sonora



Fonte: Helerbrock (2020)

Essa variação da massa específica de ar pode ser expressa em função da posição e do tempo.

O deslocamento de ar provocado muda a densidade do ar na camada adjacente (condensação ou rarefação), o que provoca uma mudança de pressão (compressão ou descompressão). Por sua vez, a variação de pressão produz o deslocamento da camada de ar anexa, e assim por diante. O mecanismo dinâmico de propagação da onda se resume assim: O deslocamento do fluido muda a densidade, que gera uma mudança de pressão e conseqüentemente uma produção de deslocamento.

De forma quantitativa, pode-se expressar essa mudança de pressão correspondente. Geralmente, para uma dada massa de fluido M ocupando um volume V , um acréscimo de pressão ($\Delta P > 0$) provoca uma diminuição ($\Delta V < 0$) de volume. A magnitude da variação percentual de volume correspondente é $-\Delta V/V$, e para variações infinitesimais pode-se escrever a razão

$$K = -(\Delta V/V)/\Delta P \quad (3.3.1)$$

O “K” chama-se módulo de compressibilidade do fluido. Quanto mais compressível ele for, maior a variação percentual de volume provocada por uma dada variação de pressão, e por conseguinte maior será o valor de K.

O inverso B de K chama-se módulo de elasticidade volumétrico:

$$B = 1/k = - \Delta P/(\Delta V/V) \quad (3.3.2)$$

A densidade “ ρ ” do fluido é

$$\rho = M/V \quad (3.3.3)$$

de modo que a variação de densidade correspondente é, por diferenciação,

$$\Delta \rho = -M \frac{\Delta V}{V^2} = -\rho \frac{\Delta V}{V} \quad (3.3.4)$$

Daí, podemos escrever a partir da equação (3.3.2) o seguinte

$$B = \rho \left(\frac{\Delta P}{\Delta \rho} \right) \quad (3.3.5)$$

Numa onda sonora, as variações de pressão e densidade são extremamente pequenas em relação aos valores de equilíbrio dessas grandezas, ou seja, a onda constitui uma pequena perturbação.

Se chamarmos de P_0 e ρ_0 os valores não perturbados (de equilíbrio) da pressão e da densidade, respectivamente, e de P e ρ os valores na presença da onda, temos então

$$\begin{aligned} P &= p_0 + p \\ \rho &= \rho_0 + \delta \end{aligned} \quad (3.3.6)$$

onde

$$|p| \ll p_0, \quad |\delta| \ll \rho_0 \quad (3.3.7)$$

Assim, a variação de pressão máxima que nosso ouvido pode tolerar sem provocar sensação de dor, numa onda sonora, é inferior a um milésimo da pressão atmosférica: $|p/p_0| < 10^{-3}$.

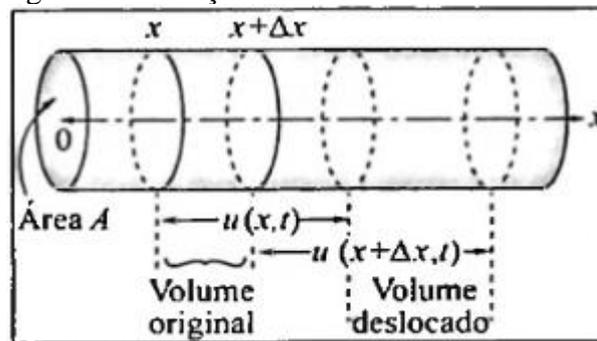
Podemos, portanto, com excelente aproximação, escrever

$$\frac{p}{\delta} = \frac{P - p_0}{\rho - \rho_0} = \frac{\Delta P}{\Delta \rho} = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \quad (3.3.8)$$

Em geral coloca-se a derivada parcial pois tem uma função que depende de outra função. No caso, o índice 0 indica que a derivada é calculada em torno dos valores de equilíbrio. Onde a pressão não só depende não só da densidade como também da temperatura.

Limitando a análise a uma onda unidimensional, propagando-se dentro de um tubo cilíndrico cuja secção transversal tem área A , podemos discutir a relação entre a variação de densidade e deslocamento do fluido. Tomemos o eixo Ox ao longo do eixo do tubo, que coincide com a direção de propagação da onda como na Figura 4.

Figura 5 - Variação de volume



Fonte: Nussenzveig (2002)

Seja $u(x, t)$ o deslocamento sofrido pelas partículas do fluido na secção transversal de coordenada x no instante t . o volume original (antes do deslocamento) do fluido compreendido entre as secções x e $x + \Delta x$ é

$$V = A[(x + \Delta x) - x] = A\Delta x \quad (3.3.9)$$

Tomando Δx infinitésimo, como na Figura 4, após o deslocamento o volume passa a ser

$$V + \Delta V = A \{ [(x + \Delta x) + u(x + \Delta x, t)] - [x + u(x, t)] \}$$

$$\begin{aligned}
 &= A \{ \Delta x + [u(x + \Delta x, t) - u(x, t)] \} \\
 &= A \Delta x \left\{ 1 + \underbrace{\left[\frac{u(x + \Delta x, t) - u(x, t)}{\Delta x} \right]}_{-\frac{\partial u}{\partial x}(x, t)} \right\} = A \Delta x \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right)
 \end{aligned}$$

O que dá

$$\Delta V = A \Delta x \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \tag{3.3.10}$$

Dividindo membro a membro pela equação (3.3.9), obtemos

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \tag{3.3.11}$$

Levando em conta as (3.3.4) e (3.3.6), a variação de densidade correspondente é

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\partial u}{\partial x}(x, t) = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} = \frac{\delta}{\rho} = \frac{\delta}{\rho_0}$$

De modo que, finalmente pode-se escrever

$$\delta = \rho - \rho_0 = -\rho_0 \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \tag{3.3.12}$$

Que é a variação de densidade associada à onda de deslocamento.

Dada a análise acima, pode-se agora obter a equação de propagação das ondas sonoras, a partir da equação (3.3.12), um deslocamento do fluido produz uma variação de densidade

$$\delta = -\rho_0 \frac{\partial u}{\partial x}$$

Pela (3.3.8), esta variação de densidade produz uma variação de pressão

$$p = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \delta = -\rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.3.13)$$

Os deslocamentos gerados por esta variação de pressão obedecem à equação de movimento

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.3.14)$$

Dando

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (3.3.15)$$

O que leva a equação de ondas

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (3.3.16)$$

Com a velocidade de propagação dada por

$$v = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0} \quad (3.3.17)$$

Sendo assim, a velocidade de propagação do som no fluido.

Derivando em relação a x ambos os membros da equação (3.3.16), observamos que

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) = 0$$

Pois a ordem das derivadas parciais pode ser invertida. Comparando com as (3.3.12) e (3.3.13) obtemos

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2} = 0 = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (3.3.18)$$

De modo que as variações de densidade e pressão também obedecem à mesma equação de onda, ou seja, propagam-se com a velocidade do som.

As ondas sonoras podem ser expressas também como variação de pressão ao longo do sistema. Essas ondas no ar são os exemplos mais importantes de ondas longitudinais, podendo se propagar através de qualquer meio material. Sua velocidade v depende das propriedades do meio onde ocorreram essas vibrações e a frequência f depende da fonte causadora da vibração. Logo, se a frequência dessas oscilações estiver entre 20 Hz e 20000 Hz, essas variações de pressão terão uma força oscilando capaz de sensibilizar o tímpano, levando à sensação de audição. No caso, pode-se denomina-las de ondas sonoras audíveis. O som é qualquer perturbação em um meio por objetos materiais que podem ser percebidas pelo ouvido humano. Essas perturbações (vibrações) são transmitidas pelo ar, em forma de ondas sonoras, e a sensação que elas produzem quando chega aos ouvidos chama-se som. As ondas sonoras são perturbações que transportam energia e quantidade de movimentos em meios físicos materiais.

3.4 Velocidade do Som

Robert Boyle, de forma empírica, observou que o som precisa de um meio material para se propagar. Assim, o comportamento da onda sonora vai se alterando de forma considerável conforme o meio físico de propagação. Então, verifica-se alguns critérios importantes para a velocidade de propagação do som no ar: temperatura, variação da pressão no ar entre outros. Assim, a velocidade das ondas sonoras é relacionada com as características do meio e não do movimento inicial da fonte que produz o som, isto é, a propriedade geral do movimento ondulatório. No ar, por exemplo, a velocidade de propagação do som é uma aproximação de 340 m/s, na água ela é aproximadamente cerca de 1500 m/s e uma aproximação

de 5000 m/s no ferro. Na Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 estão a velocidade do som para alguns meios físicos.

Tabela 1 - Velocidade do som em alguns materiais sólidos

MEIOS SÓLIDOS	
Vidro (20 °C)	5130 m/s
Alumínio (20 °C)	5100 m/s

Fonte: Gouveia (2020).

Tabela 1 - Velocidade do som em alguns materiais líquidos

MEIOS LÍQUIDOS	
Glicerina (25 °C)	1904 m/s
Água do mar (25 °C)	1533 m/s
Água (25 °C)	1493 m/s
Mercúrio (25 °C)	1450 m/s

Fonte: Gouveia (2020).

Tabela 2- Velocidade do som em alguns materiais gasosos

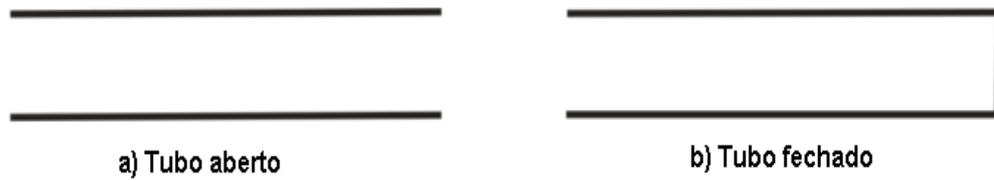
MEIOS GASOSOS	
Hidrogênio (25 °C)	1286 m/s
Hélio (25 °C)	972 m/s
Ar (25 °C)	343 m/s
Ar (0 °C)	330 m/s

Fonte: Gouveia (2020).

3.5 Ondas estacionárias em tubos sonoros abertos e fechados

Os tubos sonoros podem ser de extremidades abertas como ilustrado em (a) ou fechado como ilustrado em (b), Figura 4.

Figura 6 - Tubo aberto e fechado



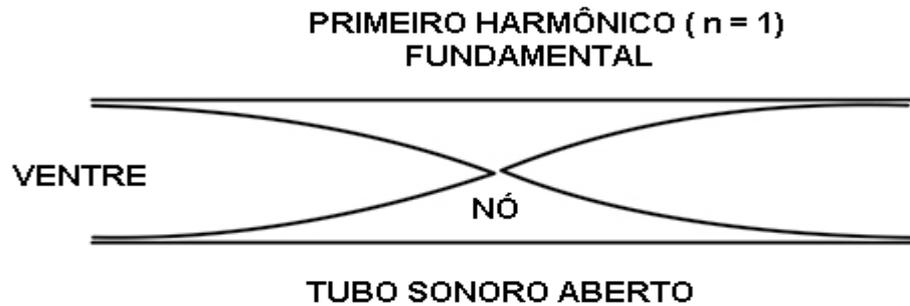
Fonte: Elaborado pelo autor

As vibrações das colunas gasosas podem ser estudadas como ondas estacionárias, longitudinais resultantes da interferência do som enviado na embocadura como em um instrumento e refletida na outra extremidade do tubo assim como fizemos para ondas numa corda na secção 3.1.1 sobre ondas estacionárias. Um tubo que possui uma extremidade fechada, sempre existe um nó, localizado na parede fechada do tubo. Região essa onde quase não há movimentação das partículas de ar que estão coladas na parede fechada do tubo. E outra região que possui uma extremidade aberta, que se caracteriza por ventre. Região essa onde as partículas do ar possuem maior liberdade de movimentação.

Portanto, tubo sonoro aberto é um tubo que apresenta abertura nas duas extremidades, tanto na extremidade esquerda como na extremidade direita. E é o ar, no interior do tubo, que vibra e não o tubo, podendo o tubo adquirir parte da vibração. Quando uma onda estacionária de forma no interior de um tubo, as moléculas de ar se deslocam assim como as ondas em cordas de violões formando padrões de sons chamados de harmônicos. Verifica-se que há uma maior concentração de ar nas extremidades do tubo e uma menor concentração de ar na região central. Isso ocorre porque quando as ondas atingem as extremidades abertas dos tubos, elas tendem a sair desse tubo. Porém, uma parte da onda reflete para o interior do tubo pela existência de diferenças entre as características da parte exterior e interior do tubo. Fato esse que merece destaque, visto que as regiões externa e interna não são o mesmo meio material por diferenças pouco expressivas com uma pequena diferença de temperatura entre a parte de dentro e a parte de fora do tubo. Internamente também ocorrem múltiplas reflexões feitas nessas paredes internas, superior e inferior dos tubos. Então assim, em geral, há uma concentração maior de ar nas extremidades abertas dos tubos. É interessante salientar ainda outro fator que contribui para uma menor concentração em regiões medianas dos tubos. As ondas que se refletem nas extremidades do tubo aberto se refletem em fase, ou seja, uma reflexão em fase valoriza o encontro de ondas em fase passando assim a acontecer o que nós chamamos de ventre. É aquele ponto de oscilação máxima, dois ventres. E o inverso ocorre nas regiões medianas aparecendo o que chamamos de um nó, que seria um ponto de oscilação mínima, ou

seja, uma menor concentração de ar. Assim nos tubos abertos a formação do primeiro harmônico é formado por duas regiões de ventres nas extremidades e uma região de nó na região mediana.

Figura 7 - Harmônico fundamental e tubo aberto



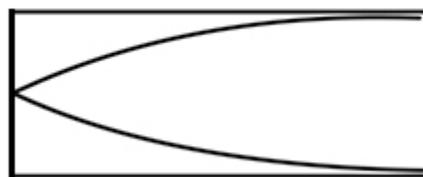
Fonte: elaborado pelo autor

Do mesmo modo também existem os instrumentos que são classificados em semiabertos, como a flauta-pan, feita de bambu. Ela é aberta em uma das extremidades e fechada na outra. E nessa classificação de tubo, o deslocamento de ar na parte interna não acontece, havendo uma menor concentração de ar. Afirmamos assim que ali existe uma formação de um nó. Assim, esse padrão é o mesmo para qualquer tubo fechado, na parte aberta vai aparecer um ventre, enquanto na parte fechada vai aparecer um nó.

A onda que bate na extremidade fechada retorna, refletindo-se em oposição de fase. Logo a onda chega com crista e volta como vale. Nesse ponto, então, vai ocorrer uma interferência destrutiva. Na parte aberta um ventre de pressão de ar e na parte fechada, um nó de pressão de ar.

Figura 8 - Harmônico fundamental e tubo fechado

**PRIMEIRO HARMÔNICO ($n = 1$)
FUNDAMENTAL**



TUBO SONORO FECHADO

Fonte: elaborado pelo autor

Pode-se ressaltar que um nó, é uma mínima oscilação e um ventre é uma máxima oscilação. Nesse ponto, podemos enfatizar a relação entre as dimensões do tubo e as características física das ondas sonoras. Ele é aberto nas duas extremidades, e possui um comprimento $\lambda = L$. Assim, estabelecido, qual é a menor condição para existir uma onda estacionária em um tubo aberto? Vale lembrar qual é a configuração de interferência que aparece na extremidade aberta, o ventre. E na outra extremidade aberta também é um ventre. Então, fica um ventre do lado direito, e um ventre do lado esquerdo. Assim, temos dois ventres, um em cada extremidade, e um nó central. Portanto, essa configuração de onda estacionária aí representa a mínima condição para existir uma onda estacionária em um tubo que é aberto. E como já citamos anteriormente, o nome dessa mínima condição para existir uma onda estacionária em algum local, seja uma corda, seja um tubo, chama-se de primeiro harmônico. É representado pela relação $f = nV/2L$, como na equação 3.14, em que “n” é a ordem do harmônico e corresponde a quantidade de meios comprimentos de onda em cada configuração de onda estacionária. Se $n = 1$, temos $f = V/2L$, assim, os nós e os ventres estão representados como se as ondas fossem transversais, quando, na realidade, elas são longitudinais. Para efeito de cálculo, esse artifício é válido.

Mas geralmente, o ar contido numa cavidade de forma qualquer possuirá uma serie de frequências de ressonância associadas aos seus modos normais de vibração, constituindo uma cavidade acústica ressonante. O “barulho do mar” que se ouve, quando se cola o ouvido à abertura de uma concha marinha, não passa da excitação de modos ressonantes da cavidade por ligeiras correntes de ar.

O som que se origina das cordas vibrantes de um instrumento musical tal como o violino ou o piano é profundamente influenciado pela “caixa de som” do instrumento, constituída por partes de madeira. Procura-se neste caso evitar a ocorrência de ressonâncias muito pronunciadas, pois o objetivo é, pelo contrário, reforçar uniformemente todas as notas. (NUSSENZVEIG, 2002)

Desta maneira, as ondas que se formam dentro de um tubo sonoro ou em cordas podem apresentar um padrão estacionário, capaz de formar a partir de uma superposição de duas ondas idênticas, com sentidos opostos e na mesma direção, com mesma amplitude, mesma frequência e o mesmo comprimento de onda.

4 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Nesse capítulo serão abordados os experimentos que foram usados nesse trabalho para relacionar a teoria com fenômenos ligados ao dia-a-dia do discente. Levando em consideração que são sugestões de cunho aberto a ser adaptado pelo professor e a realidade daqueles nos quais pretende-se melhorar o ensino-aprendizagem de ciências. Demonstrando sempre a ideia de que o ensino de ciências deve ser abordado de forma dinâmica e interessante.

As atividades experimentais simples são previstas pelo PCN (Parâmetros Curriculares Nacional) de Ciências como sendo aquelas que podem ser realizadas na sala de aula ou até mesmo em outro ambiente que não seja necessariamente um laboratório de ciências. Como, o pátio da escola, a quadra de esportes da escola utilizando-se de materiais do dia-a-dia investigando fenômenos físicos de real importância no processo ensino-aprendizagem.

Deve ficar claro aqui que a experimentação na escola média tem função pedagógica, diferentemente da experiência conduzida pelo cientista. A experimentação formal em laboratórios didáticos, por si só, não soluciona o problema de ensino-aprendizagem em Química. As atividades experimentais podem ser realizadas na sala de aula, por demonstração, em visitas e por outras modalidades. Qualquer que seja a atividade a ser desenvolvida, deve-se ter clara a necessidade de períodos pré e pós atividade, visando à construção dos conceitos. Dessa forma, não se desvinculam “teoria” e “laboratório”. (BRASIL, 2002)

As atividades experimentais são aquelas que o aluno aprende a fazer conjecturas, desenvolve a interação com seus colegas; melhorando também as socializações aluno-aluno e aluno-professor, provocando a aprendizagem, pois dessa forma ele consegue colocar pra fora seus pontos de vista, suas ideias, lidando melhor com seus erros, ficando menos frustrado, sendo motivado e se motivando para superar seus erros e torna-los acertos.

4.1 Experimento 1: Mola Slinky

É sempre interessante começar o bloco de experimentos de forma bem simples e introdutória, pensando sempre no que foi ministrado de forma teórica. No caso, o que é logo citado é a característica de propagação de uma onda, que pode ser transversal ou longitudinal. Pensando nisso, como primeiro experimento usaremos uma mola conhecida como ‘slinky’, do tipo helicoidal feita de aço. Há também molas Slinky de plástico, normalmente vendidas em lojas de produtos para aniversário, são bem mais baratas.

Figura 9 - Mola Slinky



Fonte: Hamburger (2022)

Com esta mola, poderemos ver a formação de uma onda. Quando esticada sobre a mesa, a mola pode transmitir uma perturbação através dela, e esta perturbação que se propaga através da mola é chamada de onda. Podemos citar que a onda é a energia em movimento, ou seja, uma perturbação propagada e que não deve ser confundida com o meio de propagação. Uma onda é chamada de longitudinal, quando o sentido de vibração da perturbação está na mesma direção de propagação da onda. Como podemos ver no experimento da mola slinky. Encolhendo e soltando a mola rapidamente podemos ver um pulso se propagando através da mola, cuja direção de vibração será a mesma da direção de propagação desta onda. Outro exemplo deste tipo de onda, chamado de onda longitudinal, é a onda sonora. O som se propaga por meio da vibração do ar na mesma direção da sua propagação.

Há também as ondas do tipo transversal. Que ocorre no caso desta mola, quando a perturbação é feita na direção perpendicular ao seu comprimento. Para isto, basta darmos uma batida com a mão na lateral da mola. A perturbação provocada irá se propagar através da mola com a direção de vibração perpendicular à direção de propagação da onda. Além disso, podemos visualizar outro efeito. No instante em que esta onda transversal se reflete na outra extremidade, ela muda a sua fase. Ou seja. Se antes da reflexão esta onda se propagava com o ventre do lado esquerdo, após a reflexão ela retorna com o ventre do lado direito e vice-versa. Levando em consideração que a extremidade da mola está presa. Em nosso cotidiano há vários

outros exemplos de ondas transversais em que podemos observar essas propriedades e características. Como as ondas na superfície da água, as ondas numa corda de violão ou as ondas eletromagnéticas.

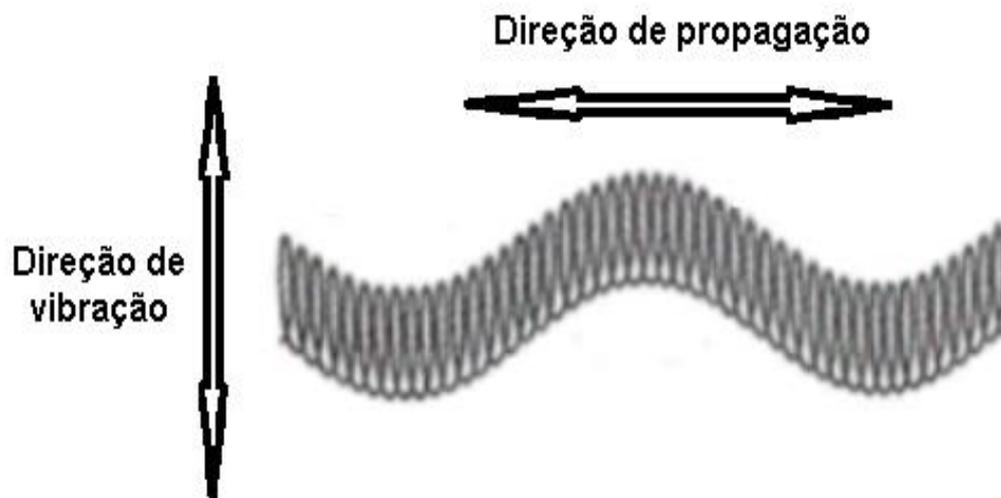
Procedimento experimental.

Objetivo: Verificar a formação das ondas transversais e longitudinais com Molas Slinky e entender as suas características

Material: Mola Slinky ou uma mola flexível de um tamanho que dê para verificar o fenômeno.

Procedimento: Estique a mola em dois pontos distantes numa superfície horizontal. Fixe uma das extremidades e com a mão, afaste rapidamente a extremidade livre da mola para a esquerda e para a direita em um movimento de vibração perpendicular ao sentido de alongação da mola.

Figura 9 - Direção de propagação numa onda transversal



Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, ainda com a mola bem esticada e em repouso, contraia e distenda rapidamente um certo número de espiras no início da mola e observe a propagação.

Figura 11 - Direção de propagação numa onda longitudinal



Fonte: elaborado pelo autor.

Quando aplicamos as atividades experimentais não dispúnhamos de uma mola Slinky, por isso essa atividade não foi realizada com os nossos alunos. Mas recomendamos como uma atividade inicial sobre ondas sonoras.

4.2 Experimento 2: Telefone com fio e copos

Nesse ponto fica evidente que as ondas mecânicas podem se propagar através de qualquer meio material, podendo ele ser, sólido, líquido ou gasoso. Com exceção das ondas na superfície da água que são transversais, os fluidos não suportam forças de cisalhamento e isso faz com que as partículas do meio oscilem sempre na mesma direção em que a onda se move.

Tendo em vista tais características da onda sonora pode-se compreender como se estabelece o mecanismo do Telefone de copo. Quando uma onda sonora unidimensional é gerada próximo ao copo fixado nas extremidades do fio, a onda comprime e expande alternadamente o ar próximo. Essa perturbação faz vibrar o fundo do copo e conseqüentemente o fio do barbante esticado. Assim o som viaja ao longo do fio como uma onda sonora. À medida que a onda passa por um ponto qualquer, as moléculas do barbante se movem, para frente e para trás em torno de seu ponto de equilíbrio, paralelamente à direção de propagação da onda. Quando a onda sonora chega à outra extremidade do fio, ela faz vibrar o fundo do copo receptor e que por conseguinte faz vibrar o ar dentro do copo. Essa vibração do ar chega até os ouvidos que são responsáveis pela captação do som. O som, portanto, é enviado para o cérebro para ser interpretado e assim definitivamente ouvido.

Como segundo experimento, busquei uma prática que pudesse fazer o estudante verificar as características físicas de uma onda sonora, como o fato dela se propagar em um meio físico material ou a diferença na velocidade de propagação em meios diversos, como é o caso desse primeiro experimento. O trabalho consiste em construir um telefone de latinha, com

latas ou copos plásticos descartáveis, ou até mesmo copos de requeijão, também de plástico, interligados por um fio plástico de 10 m (ou outro valor previamente estipulado pelo professor). A prova do trabalho é estabelecer uma mínima comunicação de forma clara e limpa através do experimento entre duas pessoas separadas por uma distância onde na qual por meio do ar, não seria possível ouvir as mesmas.

Os materiais utilizados serão objetos do dia a dia do aluno, como tesoura, pregos pequenos, copos de plásticos (como os usados em embalagens de requeijão) fio de barbante. Pois os mesmos devem sentir a simplicidade do trabalho de modo a poder construir em sua casa e absorver a essência do fenômeno físico por trás do produto e entender também de forma descomplicada os aspectos buscados na prática.

Procedimento experimental

Objetivo: Verificar a propagação das ondas sonoras em diferentes meios.

Material: Dois copos descartáveis ou dois copos de requeijão secos (aqui pode-se usar latas de metal vazias e limpas que podem ser de milho, ervilha, leite condensado, etc.). Dez metros de barbante fino e martelo e um prego para fazer o furo no copo.

Procedimento: Com cuidado e sobre supervisão do professor ou uma pessoa adulta, prepare o copo de requeijão retirando devidas imperfeições e deixando-o limpo. (Caso for utilizado latas, amasse as bordas das latas com um martelo pequeno ou com um alicate. É preciso fazer isso para que não haja perigo do aluno se cortar quando estiver realizando o procedimento). Usando um preguinho fino, faça um furo bem no centro do fundo de cada copo. Enfie uma ponta do barbante no furo do copo, de fora para dentro. Depois, dê um nó na ponta do barbante para que ele não escape. Faça o mesmo do outro lado. Prenda em cada extremidade os diferentes fios de barbantes (que podem ser de nylon ou de lã) um copo plástico de requeijão; estique o fio sem deixar que o dedo toque no fio amortecendo ou impedindo a propagação das ondas sonoras.

Figura 12 - Telefone de copos finalizados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 - Telefone com fio e copo descartável com duas extremidades



Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda o mesmo experimento do telefone de latinha pode ter mais de duas extremidades como é o caso da foto abaixo.

Figura 14 - Telefone com fio e copo descartável com 4 extremidades



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Experimento 3: Ressonância em uma taça de cristal

Esse experimento é bastante conhecido, pois está presente em programas correntes na rede de TV aberta. Em tais programas, envolve quebrar uma taça ao cantar determinadas notas musicais produzidas com a voz. Isso só é possível quando cantamos exatamente na frequência fundamental ou em um múltiplo dessa frequência. Se o estímulo sonoro for mantido por tempo suficiente, as moléculas presentes na taça passarão a oscilar em amplitudes cada vez maiores até que a taça quebre.

Neste experimento busca-se fazer o aluno compreender o fenômeno da ressonância das ondas sonoras. Pois, ele será um fenômeno bastante sentido no dia a dia dos estudantes e em outras práticas estabelecidas no presente trabalho.

Usaremos os medidores de frequência através de aplicativos de celular para medir as diferentes frequências produzidas nas taças com níveis diferentes de água e depois pegar essas frequências e tentar através do app produzir ressonância nas taças com um canudo dentro

Para começar, devemos lembrar como é produzida a nossa voz. Uma sequência de músculos comprime o pulmão e movimenta o ar que sai através da laringe. Na extremidade da laringe tem um conjunto de músculos que são chamados pregas vocais. As pregas vocais podem interromper a passagem do ar e causar no ar vibrações em frequências bem específicas, chamadas também de altura do som. A altura do som está relacionada a frequência sonora,

assim sendo, alturas maiores (sons altos) serão sons agudos (altas frequências) e alturas menores (sons baixos) são chamados sons graves (baixas frequências).

Quanto mais energia é transportada pela onda, maior será a intensidade dessa onda no nosso ouvido ou maior será o impacto dela onde ela estiver causando algum fenômeno. Podemos descrever a Intensidade da onda sonora “I” como a razão entre a variação de energia “E” e o produto da área “A” e a variação do tempo “t”.

$$I = \Delta E / A \cdot \Delta t \quad (4.1)$$

Como a Potência “P” é a razão entre a energia “E” e o tempo “t” podemos escrever ainda que a intensidade sonora é a razão entre a potência “P” e a área “A”.

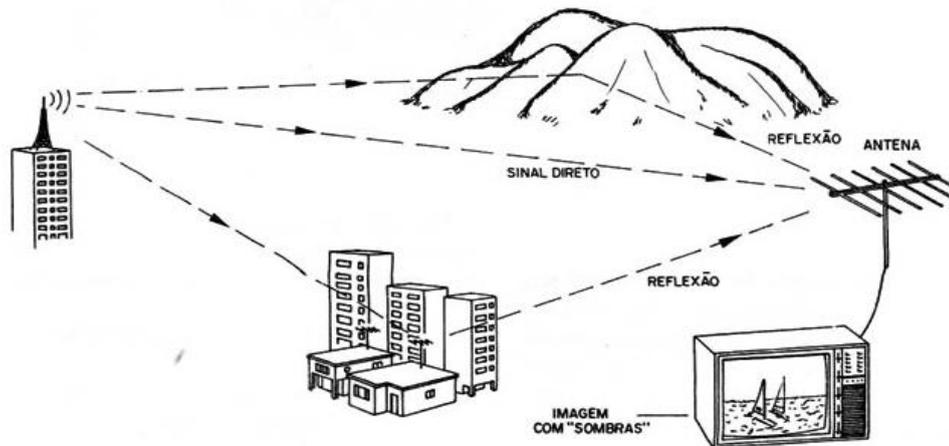
$$I = P / A \quad (4.2)$$

Portanto, quanto mais energia, mais forte e mais intenso é o som. Em contra partida, quanto menos energia, mais fraco e menos intenso é o som.

Entender a altura e intensidade sonora é fundamental para entender o fenômeno de ressonância na taça de vidro. Todos os corpos tem, em sua natureza constituinte, uma frequência própria de vibração. Assim sendo, quando um som tem a mesma frequência da natureza de vibração própria do corpo ocorre uma superposição das vibrações, ocorrendo assim uma troca de energia. Podendo acontecer da onda sonora fornecer energia para o corpo, aumentando assim a amplitude de vibração do corpo.

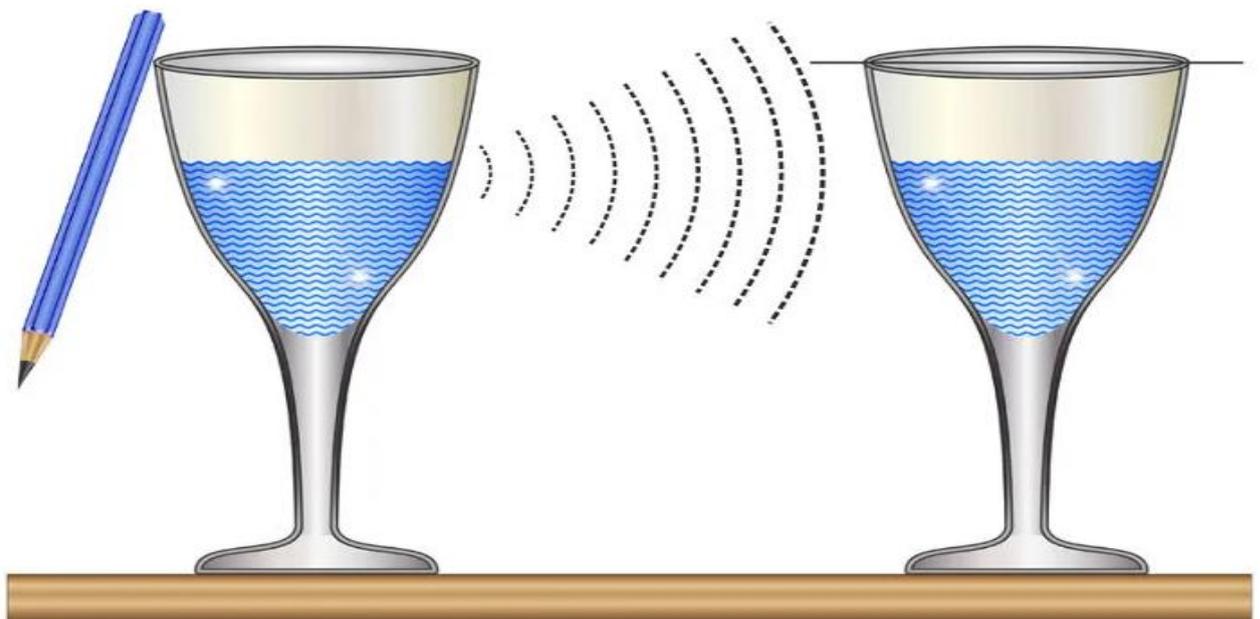
Em nossos dias há diversos exemplos desse fenômeno, como a ressonância na comunicação entre emissoras de TV e Rádio e entre celulares, que só são possíveis pelo fenômeno da ressonância.

Figura 15 - Ressonância na comunicação de rádio e TV



Fonte: Alves *et al* (2019)

Figura 10 - Ressonância transmitida entre taças de cristal



Fonte: Helerbrock (2022)

Procedimento experimental

Objetivo: Verificar a transmissão de energia por ressonância entre taças de cristais próximas uma da outra.

Material: Duas taças de cristal, canudos plásticos ou de papéis leves.

Procedimento: Coloque as duas taças idênticas em cima de uma superfície plana uma próxima da outra. Coloque a mesma quantidade de águas nas duas taças (este experimento também pode ser feito sem colocar água nas taças). Escolha uma das taças e coloque um canudo de plástico

leve acima da boca da taça. E com auxílio de um lápis dê leves toques na taça que sem o canudo de plástico.

4.4 Experimento 4: Identificando o primeiro harmônico em tubos sonoros

Primeiramente, deve-se mostrar, um cano de PVC ou uma proveta aos alunos e explicar que podem ser tubos sonoros. Muito dos docentes no dia a dia tem contato com os tubos sonoros, por exemplo, uma gaita, uma escaleta, uma flauta, um apito são exemplos de tubos sonoros. Alguns são denominados instrumentos musicais e outros apenas produzem um som qualquer. O apito não chega a ser um instrumento propriamente dito, pode ser utilizado na música sem problema nenhum, porém não é denominado instrumento musical. É evidente que os maiores exemplos sobre tubos sonoros são de instrumentos musicais. No entanto, até mesmo uma garrafinha com um pouquinho de água quando sopramos por cima consegue sustentar um som. Caso seja modificado a quantidade de água dentro da garrafa o som se modifica. E essa ideia é justamente o mesmo princípio utilizado neste quarto experimento.

A partir deste procedimento experimental, temos a oportunidade de determinar a velocidade do som dada uma determinada frequência que será obtido por meio do “Frequency Generator” (Gerador de som de frequência) que pode ser adquirido na loja de qualquer smartfone de forma gratuita pelos alunos durante a aula.

Primeiro foram feitas algumas atividades práticas observacionais simples para familiarizar os alunos com o gerador de frequência que os mesmos já dispunham no celular obtido de forma fácil. Tais atividades iniciais servem para fazê-los perceber aspectos como características que diferenciam frequências altas e baixas em termos audíveis, constatando o que já havíamos exposto de forma teórica.

Em seguida, utilizando canos ou provetas com água para simular os tubos sonoros fechados.

Em relação aos tubos sonoros, nós temos dois tipos de tubos. O primeiro a ser abordado é o tubo aberto, que é um tubo que apresenta as duas extremidades livres, ou seja, é aberto de um lado e aberto de outro lado também. Primeiramente, deve ser mencionado que as ondas que são formadas no interior dos tubos são ondas como as formadas nas cordas de um violão. No entanto, as ondas nas cordas de um violão são ondas transversais, assim as cordas vibram e produzem no ar ondas sonoras longitudinais. Uma flauta doce, é um exemplo de tubo aberto. Não é preciso, por exemplo, se esforçar ou fazer alguma técnica avançada, para se tirar som dela. Ela possui uma palheta no orifício de entrada do ar e assim que o jato de ar entra,

passa pela palheta, e a faz vibrar. A vibração da palheta dentro do tubo aberto faz com que a onda percorra toda a extensão do tubo acontecendo os padrões de interferência e ressonância.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA FLAUTA DOCE

Como a flauta doce é um instrumento de sopro, o seu princípio de funcionamento se baseia em produzir uma coluna de ar dentro de um tubo, criando uma onda estacionária que produzirá o som (FENG, J. Q., 2012). Utilizamos as posições dos dedos para controlar o tamanho da coluna de ar dentro do tubo e assim obter as notas musicais ao fazer as posições corretas. Para a produção do som, o ar que entra no bocal (Figura 5) da flauta (onde se coloca a boca) se choca com uma fina lâmina que fica na janela da cabeça da flauta, chamada de lingueta, criando assim um filete de ar que entra no tubo com os orifícios. Este filete de ar já tem o próprio som da flauta, mas não tem afinação, sendo que ele só terá a frequência de uma nota musical ao entrar no tubo. Kleyton D'Martin Costa¹, Samuel Bueno Soltau² (2016, p. 4)

Figura 17 - Mecânica do ar no funcionamento da flauta doce



Fonte: Costa e Soltau (2016, p. 4)

A mesma coisa acontece também com o apito, com a gaita, com a escaleta e muitos outros instrumentos de sopro.

Figura 18 - Proveta para dimensionar o tamanho L da coluna de ar do harmônico fundamental



Fonte: elaborado pelo autor.

Procedimento experimental

Objetivo: Observar a formação de ondas estacionárias no interior de tubos sonoros fechados e determinação da velocidade do som.

Material: Canos de PVC ou qualquer tubo com um comprimento de meio metro. Um gerador de frequência sonora. (Esse gerador pode ser adquirido na galeria de aplicativos em qualquer smartfone) E um balde com água suficiente para encher todo o cano de PVC.

Procedimento: Coloque acima de uma superfície plana uma proveta graduada ou um cano PVC com uma extremidade vedada para parte de baixo. Completamos com água todo o tubo e aplicamos, com o gerador de frequência, uma frequência qualquer e percebemos a intensidade sonora. A partir daí, faça a água sair pela parte inferior do cano PVC sempre deixando o emissor de frequência ligado na parte superior do tubo. (Caso esteja utilizando a proveta é preciso retirar parte da água e ir adicionando água aos poucos na parte superior da proveta). A partir do momento em que o aluno perceber a máxima alteração do som de forma audível, ele irá parar o fluxo de água do tubo e medir, com auxílio de uma régua, o valor do tamanho “L” do tubo referente a cavidade com ar. Tal medida se referirá ao primeiro harmônico.

4.5 Experimento 5: Construindo Tubos musicais

A construção dos tubos sonoros é a aplicação tecnológica e interessante na sequência de construção desses experimentos. Juntar música ao estudo dos tubos sonoros nesse interim nos fornece um embasamento um tanto quanto intuitivo para a sequência do nosso trabalho.

As notas musicais correspondem a sons com certas frequências bem determinadas, obedecendo a convenções estabelecidas no decurso da história.

O intervalo entre duas notas musicais de frequências v_1 e v_2 é definido pela razão das frequências v_2/v_1 . Em particular, quando $v_2 = 2v_1$, dizemos que é um intervalo de oitava, e os dois sons são percebidos como a “mesma” nota musical em alturas diferentes.

Pitágoras já havia descoberto, no século VI a.C., que sons musicais harmoniosos são emitidos por uma corda vibrante cujo comprimento é dividido segundo proporções simples, o que altera na mesma proporção a frequência v_1 do tom fundamental da corda [cf (3.14)]. Assim, reduzindo o comprimento à metade, o tom fundamental produzido está uma oitava acima; a proporção 2:3 dá a razão de frequência 3/2, e corresponde ao intervalo de quinta, que separa as notas dó e sol, e assim por diante. Esta descoberta da relação entre sons harmônicos e números inteiros pequenos levou a Pitágoras a formular a ideia de que “todas as coisas são números”. (NUSSENZVEIG, 2002)

Então, no experimento passado, foi pedido aos alunos que trouxessem pedaços de canos cortados de quaisquer tamanhos para a construção de instrumentos musicais.

As variações da velocidade do som com a temperatura devem ser irrelevantes neste experimento, e o valor $V_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ pode ser adotado.

A equação $f = nV/2L$ (3.14) não prevê com exatidão as frequências de ressonância dos tubos sonoros. Como o diâmetro do tubo não é muito menor que seu comprimento, uma correção pode ser feita nestas expressões. As equações (3.15), para o tubo aberto, e (3.16), para o tubo fechado, introduzem o efeito do diâmetro D nas frequências de ressonância:

$$f_n = n \frac{v_{\text{som}}}{2(L + 0,6D)} \quad (3.15)$$

$$f_n = n \frac{v_{\text{som}}}{4(L + 0,3D)} \quad (3.16)$$

Então os alunos começaram a produzir notas específicas a partir do seu diâmetro e comprimento do pedaço de cano específico adquirido facilmente.

Após a construção dos tubos, poderá ser verificado com o uso do captador de frequência de notas musicais prevista de forma teórica.

Figura 19 - Confeção do tubo sonoro musical



Fonte: elaborado pelo autor.

Procedimento experimental

Objetivo: Mostrar a formação de diferentes sons em tubos de tamanhos diferentes.

Material: Tubos de PVC em diferentes tamanhos com 40 mm de diâmetro. Arco de serra. Lixa para acabamento pós-corte. Lápis e borracha. Trena. Aplicativo de celular para verificar a frequência produzida pelos tubos PVC.

Procedimento: Utilizando a equação 3.15 podemos verificar o tamanho $L = 36,69$ cm correspondente a nota Lá de frequência 440 Hz. (Você pode utilizar o tamanho L para outras frequências desejadas). Marque com o lápis o tamanho L no cano PVC. Com a supervisão do professor ou de um adulto, corte com arco de serra alguns milímetros acima marcação. E com a ajuda da lixa faça um ajuste fino para deixar o tamanho mais próximo da medida L. Uma mesma nota musical pode ser adquirida dobrando o valor da frequência f , e isso significa uma oitava acima. Entre duas notas de uma oitava existem 12 intervalos de notas musicais por conta do sustenido, representado pelo símbolo # (Dó, Dó#, Ré, Ré#, Mi, Fá, Fá#, Sol, Sol#, Lá, Lá#, Si, Dó). As frequências idênticas de uma oitava são adquiridas multiplicando a frequência inicial pela décima segunda raiz de dois. Ou seja, multiplicar a frequência f por $x = 1,0594631$ pois $(1,0594631)^{12} = 2$.

Tabela 3 - Frequências de uma oitava da nota lá

Nota	Frequência - f Hertz (Hz)	$x = 1,0594631$
Lá	440,00	f
Lá#	466,16	$f.x$
Si	493,88	$f.x^2$
Dó	523,25	$f.x^3$
Dó#	554,37	$f.x^4$
Ré	587,33	$f.x^5$
Ré#	622,25	$f.x^6$
Mi	659,26	$f.x^7$
Fá	698,46	$f.x^8$
Fá#	739,99	$f.x^9$
Sol	783,99	$f.x^{10}$
Sol#	830,61	$f.x^{11}$
Lá	880,00	$f.x^{12} = 2f$

Fonte: elaborado pelo autor

E assim, dessa forma, podemos encontrar o tamanho L correspondente a cada nota sugerida na Tabela 4 da mesma forma que foi possível chegar no tamanho $L = 36,69$ cm correspondente a nota Lá de frequência $f = 440$ Hz.

5 MÉTODOS E DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL

No presente capítulo são apresentados os materiais e métodos para que se possa atingir o objetivo da pesquisa, ou seja, criar uma proposta de aulas com experimentos utilizando materiais de baixo custo, ou custo zero, que ajude os alunos à aprenderem de maneira significativa sobre as ondas sonoras, ou seja, uma aprendizagem de cunho significativo por meio da experimentação.

5.1 Sequência didática

O método utilizado trata de uma sequência didática (SD) onde, de acordo com Zaballa (1998, p. 53) é definida como uma “série ordenada e articulada de atividades que formam as unidades didáticas”.

Importante destacar que nos encontros, quando da apresentação dos materiais que seriam utilizados, foram relatadas discussões sobre a interdisciplinaridade do conteúdo, abordando-se a importância da reciclagem de matérias que são potencialmente agressores do meio ambiente. As aulas, tiveram assim, um importante contexto para o professor verificar por meio de sondagem e já avaliando o conhecimento prévio dos alunos sobre a temática estudada.

O presente trabalho aqui tem a pretensão de incentivar a busca de uma estratégia pedagógica que fuja às práticas comuns, é fundamental estar empenhado no desafio de unir as metodologias tradicionais às novas propostas de construir o conhecimento, do contrário as práticas comuns podem perder o entusiasmo e não motivando o discente a ver o brilho de aprender ciência. Em meio a um mundo tão tecnológico, essa tendência só será compreendida e debatida se o docente estiver atento e aberto às outras perspectivas de transmitir o conhecimento. É interessante mencionar que, aqui não se procura desincentivar o uso de provas escritas, resolução de listas de exercício, aulas expositivas, cobrar empenho dos educandos, etc. O método buscado aqui é promover reflexões sobre a natureza do aprender científico em sala de aula.

Não bastaria ao estudante dominar o manejo de conteúdos científicos sem ter uma clara ideia dos seus pressupostos e dos seus limites de validade revelados pelo contexto histórico no qual os mesmos tenham sido desenvolvidos. A ciência não pode ser ensinada como um dogma inquestionável. Um ensino da ciência que não ensine a pensar, a refletir, a criticar, que substitua a busca de explicações convincentes pela fé na palavra do mestre, pode ser tudo menos um verdadeiro ensino da ciência. É antes de mais nada um ensino de obediência cega incorporado numa cultura repressiva. (MEDEIROS, 1999).

Por isso, um esforço do professor, estruturado e com fundamento didático, para envolver os alunos no trabalho experimental insere-se no contexto mais geral da mediação do professor para promover a aprendizagem eficaz dos alunos. Para isso, basta que haja relação entre aquilo que o aprendiz já sabe e o que está aprendendo. O uso do laboratório ou o uso de experimentos simples na própria sala de aula podem estimular a curiosidade dos alunos, mas para isso, é necessário que estes sejam desafiados cognitivamente. Muitas vezes, a falta de estímulo demonstrado pelos alunos poderá ser um reflexo do tipo de aula utilizada pelo professor.

Com a realização de atividades experimentais simples, é possível verificar diversos benefícios no processo ensino-aprendizagem, dentre elas: a interação ativa dos alunos entre si e com o professor, desenvolvimento de atividades, que o permitirá melhor assimilar os conteúdos teóricos abordados em sala de aula em um momento anterior e cativar o interesse do aluno na visualização de processos e fenômenos físicos, indo além de uma visão apenas de cálculos numéricos para o alcance dos resultados ligados a questões do dia-a-dia. A elaboração e produção das atividades experimentais pode tornar mais fácil a mediação do professor quando ele busca simplicidade e objetividade na elaboração dos experimentos a fim de elucidar a característica do fenômeno que se busca demonstrar. Para isso buscou-se no presente trabalho, basicamente, dois métodos: criar condições para que os recursos sejam usados proficientemente; induzir nos alunos uma abordagem consciente objetiva das práticas.

O início da SD se deu por meio de aula teórica em quadro negro (lousa) discorrendo sobre o conteúdo de “ondas” na disciplina de Física, especificando as ondas sonoras. Nesse momento foram explanados conceitos e teorias sobre o tema.

No segundo momento apresentou-se aos alunos por meio de interações animadas de alguns experimentos por meio da plataforma PhET (SIMULAÇÕES INTERATIVAS), para que os alunos pudessem compreender a dinâmica da propagação das ondas sonoras.

Em seguida, deu-se a implementação do produto educacional, adaptando o uso de experimentos em cada aula. O Quadro 1 mostra um resumo do conjunto de atividades desta SD.

Quadro 1 - Atividades da Sequência Didática

(continua)

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	TEMPO ESTIMADO
1°	Apresentação da SD, explanação da dinâmica das aulas e a aplicações dos experimentos.	30min
2°	Aula introdutória sobre Ondas. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Exemplos de fenômenos ondulatórios na natureza ✓ Características da natureza de uma onda. Experimento 1: Telefone de fio e copos.	1h10min
3°	Forma de propagação de uma onda. <ul style="list-style-type: none"> ✓ (Uso do PhET) Ondas transversais e longitudinais. Uso do experimento 2: Mola Slinky. 	50 min
4°	Características de uma onda. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Velocidade de propagação. ✓ Comprimento de uma onda. ✓ Amplitude de uma onda. ✓ Período e frequência de oscilação de uma onda. (Uso do PhET) 	1 h 40 min
5°	Fenômenos ondulatórios. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Reflexão. Uso do experimento 2: Mola Slinky ✓ Refração. ✓ Interferência. ✓ Difração. ✓ Ressonância. Experimento 3: Ressonância em uma taça de cristal. ✓ Polarização. 	1 h 40 min
6°	Introdução a acústica <ul style="list-style-type: none"> ✓ Qualidades fisiológicas do som. (Altura, timbre e intensidade sonora) 	50 min

	✓ Ondas estacionárias	
7°	Tubos sonoros ✓ Tubo fechado. Experimento 4: Identificando o primeiro harmônico em tubos sonoros.	50 min
8°	Tubo fechado. Experimento 5: Construindo Tubos musicais	1 h 40 min

Fonte: elaborado pelo autor

Vale ressaltar aqui que esse é um quadro de atividades propostas pelo produto educacional, e que cada docente poderá adaptar o que julgar necessário, tendo em vista que cada classe de alunos tem as suas particularidades. Tais atividades aqui propostas são exemplos de como podemos adaptar as atividades experimentais em qualquer aula. Sempre buscando ser criativo e buscando interações que possam trazer a atenção dos alunos para fenômenos que irão contribuir na proposta de cada aula.

5.2 Desenvolvimento das atividades

As atividades experimentais realizadas tiveram como foco abordar alguns aspectos fenomenológicos do dia-a-dia ligados ao ensino de ondas sonoras. Aspectos como a natureza da onda sonora, forma de propagação, interferência, ressonância e a produção de sons diferentes. A ideia foi buscar atividades experimentais simples, buscando utilizar materiais que estivessem ao alcance dos discentes, e que fizesse sentido no desenvolvimento dos conceitos ligados ao ensino das ondas sonoras. As cinco atividades devem ser apresentadas de acordo com a necessidade e cronograma de cada docente, tendo em vista os diferentes aspectos relacionados a cada realidade do contexto ensino-aprendizagem. A exemplo, tais experimentos foram realizados com alunos de uma escola particular e de uma escola do estado onde apenas a escola do estado tinha um laboratório de ciências, porém sem uma estrutura e sem equipamentos adequados. Assim, como sugestão, cabe citar novamente que qualquer parte da atividade experimental deve ser adaptada para uma aula sempre após a explicação teórica de cada subtópico. Se possível, demonstrar a experimentação simples na mesma aula teórica sobre o tema referente a cada experimento, caso não ocorra, procurar demonstrar o experimento na primeira oportunidade após o embasamento teórico.

A apresentação deve se dar de forma investigativa e sempre fazendo referência a

teoria abordada, sempre aproveitando as oportunidades para enfatizar o objetivo de cada experimento. Procurando estimular os alunos a responder perguntas como:

- a) Qual o tema do experimento?
- b) Qual é o fenômeno explorado pela atividade?
- c) Qual o conceito físico ligado a atividade experimental?
- d) Qual o objetivo da demonstração?
- e) Quais outros modos de realizar o experimento poderiam ser utilizados?
- f) Quais exemplos em nosso dia-a-dia são semelhantes aos exemplos propostos?

Esse processo demonstrativo experimental se liga no que Vygotsky (2001) classifica como “científicos todos os conceitos aprendidos na educação formal e como espontâneos todos conceitos originários de uma aprendizagem informal”, enfatizando a aprendizagem cognitiva do processo de aquisição desses conceitos. O autor cita que conceitos científicos se estabelecem em cima dos chamados “conceitos espontâneos”, porém a aquisição do “saber superior” serve para balizar os conceitos espontâneos adquiridos anteriormente.

O limite que separa ambos os conceitos se mostram sumamente fluido, e no curso real do desenvolvimento pode passar infinitas vezes para ambos os lados. O desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos - cabe pressupor - são processos intimamente interligados, que exercem influências um sobre o outro. Por um lado - assim devemos desenvolver as nossas hipóteses - , o desenvolvimento dos conceitos científicos deve apoiar-se forçosamente em um determinado nível de maturação dos conceitos espontâneos, que não podem ser indiferentes à formação de conceitos científicos simplesmente porque a experiência imediata nos ensina que o desenvolvimento dos conceitos científicos só se torna possível depois que os conceitos espontâneos da criança atingiram um nível próprio do início da idade escolar. Por outro lado, cabe supor que o surgimento de conceitos de tipo superior, como o são os conceitos científicos, não pode deixar de influenciar o nível dos conceitos espontâneos anteriormente constituídos, pelo simples fato de que não estão encapsulados na consciência da criança, não estão separados uns dos outros por uma muralha intransponível, não fluem por canais isolados mas estão em processo de uma interação constante, que deve redundar, inevitavelmente, em que as generalizações estruturalmente superiores e inerentes aos conceitos científicos não resultem em mudança das estruturas dos conceitos científicos. (VYGOTSKY, 2001, p. 261).

Como sugestão os alunos podem acompanhar o experimento utilizando-se de um formulário que deve ser impresso ou copiado no quadro para apreciação do experimento. Como indicação do formulário pode-se utilizar o modelo no formulário APENDICE A – Relatório da Atividade Experimental Simples.

Na sequência, dar-se-á em detalhes, sugestões de cada atividade proposta pela SD, os objetivos, os recursos didáticos e os conteúdos abordados.

Atividade N° 1

Objetivos	- Compreender o conjunto de aulas e atividades para a compreensão do estudo das ondas.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel.
Tempo estimado	- 30 minutos

O professor irá apresentar alguns passos da SD aos alunos. Demonstrará uma breve síntese do cronograma de atividades, análogo ao quadro 1, explicando que haverá as aulas teóricas e aulas com experimentos.

Atividade N° 2

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar fenômenos ondulatórios na natureza e como muitos animais utilizam-se deles para comunicação, localização ou até mesmo para capturar suas presas. - Apresentar a definição do conceito de uma onda. - Classificar e explicar sobre a natureza mecânica e eletromagnética das ondas. - Construir um telefone de fio e copos de acordo com as orientações em Experimento 01. - Interagir e explicar que a propagação do som que é uma onda precisa de um meio para se propagar.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático, dois copos descartáveis ou dois copos de requeijão secos ou ainda pode-se usar latas de metal vazias e limpas (pode ser de milho, ervilha, leite condensado, etc.), dez metros de barbante fino e martelo e um prego para fazer o furo no copo ou lata.
Tempo estimado	- 1h10 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre o conceito de onda e classificação de uma onda com respeito a sua natureza. O professor define os principais pontos teóricos que caracterizam uma onda e define particularidades sobre o que diferenciam as ondas eletromagnéticas das ondas mecânicas. Antes de começar a construção do experimento, resolver junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre o conceito ou classificação das ondas. Em seguida, usando as orientações em

Experimento 01, construir o telefone de copos com os alunos. Incentive a manipulação do experimento por parte dos alunos instigando os mesmos a expor seus argumentos que liguem o experimento a parte teórica abordada. Ficando como sugestão usar o relatório de atividade experimental no apêndice A.

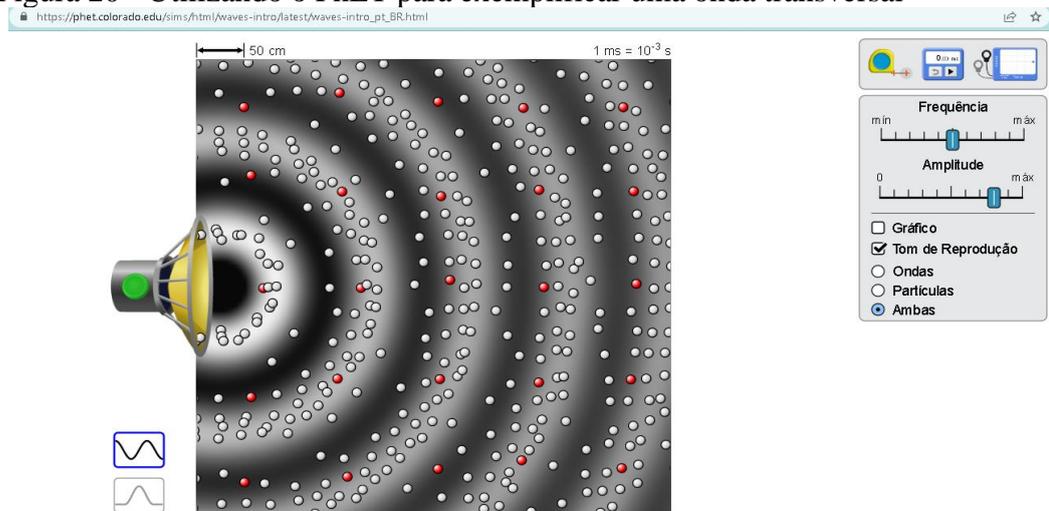
Atividade N° 3

Na Atividade N° 3, propõe-se a apresentação das formas de propagação de uma onda.

Objetivos	- Apresentar os conceitos de ondas transversais e longitudinais. (Uso do PhET) - Exemplificar exemplos na natureza destes dois tipos de ondas. - Utilizar o Experimento 02 para uma melhor demonstração e diferenciação dos dois tipos de onda.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático, mola Slinky e <i>datashow</i> .
Tempo estimado	- 50 minutos

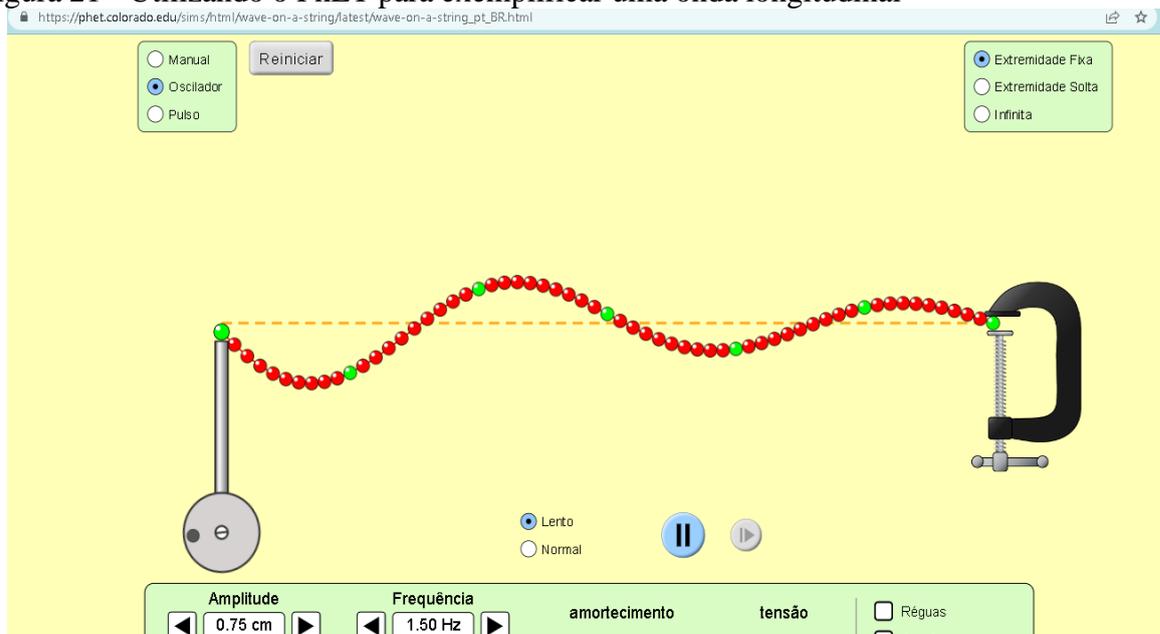
Aqui podemos utilizar as simulações interativas da plataforma PhET para demonstração dos dois tipos de ondas. Para isso é interessante que se realize essa atividade na sala de informática, ou em uma apresentação com *Datashow*. O simulador *online* servirá como ferramenta de sistematização do conteúdo, nele os alunos conseguirão diferenciar uma onda longitudinal de uma transversal conforme na Figura 18 e na Figura 19. Em seguida, apresentar a mola Slinky de acordo com as recomendações em Experimento 2.

Figura 20 - Utilizando o PhET para exemplificar uma onda transversal



Fonte: Elaborado pelo autor / Via PhET

Figura 21 - Utilizando o PhET para exemplificar uma onda longitudinal



Fonte: Elaborado pelo autor / Via PhET

Os comandos e desenhos do simulador são bastante intuitivos, e com ele, é possível verificar a diferença entre os dois tipos de ondas. Como sugestão para atividade extra classe é interessante propor aos alunos que manipulem em casa o simulador de ondas PhET. Essa atividade pode ser inclusive, compartilhada em grupos de mensagens ou plataforma da turma (*Whatsapp, Classroom, etc...*), favorecendo a discussão dos conhecimentos adquiridos e compartilhamentos sobre a manipulação do simulador. Ficando como sugestão usar o relatório de atividade experimental no apêndice A.

Atividade N° 4

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar as características das ondas. - Definir o comprimento de onda. - Mostrar como medir matematicamente o período e a frequência de oscilação de uma onda. - Deduzir a equação fundamental da ondulatória.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático.
Tempo estimado	- 1 h 40 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre elementos matemáticos fundamentais para caracterizar uma onda. O professor irá apresentar os pontos importantes da onda (como crista, vale, nó, frente de onda) para definir comprimento de onda, período e frequência. E assim poder ter meios para deduzir a equação fundamental da ondulatória. E ao final realizar junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre a aula.

Atividade N° 5

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar os fenômenos ondulatórios - Usar o Experimento 2: Mola Slinky para verificar o fenômeno da reflexão. - Apresentar os fenômenos de refração, interferência, difração e polarização em uma onda. - Usar o Experimento 3: Ressonância em uma taça de cristal na abordagem do fenômeno de ressonância.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático, taças de cristal, canudos leves de plástico ou de papel.
Tempo estimado	- 1 h 40 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre os fenômenos ondulatórios (Reflexão, refração, interferência, difração, ressonância e polarização). O professor define os principais pontos teóricos que caracterizam cada fenômeno e define particularidades que diferenciam cada fenômeno. Usaremos a mola Slinky, Experimento 2, para que todos possam verificar e entender o fenômeno de reflexão de uma onda. A seguir, usaremos o Experimento

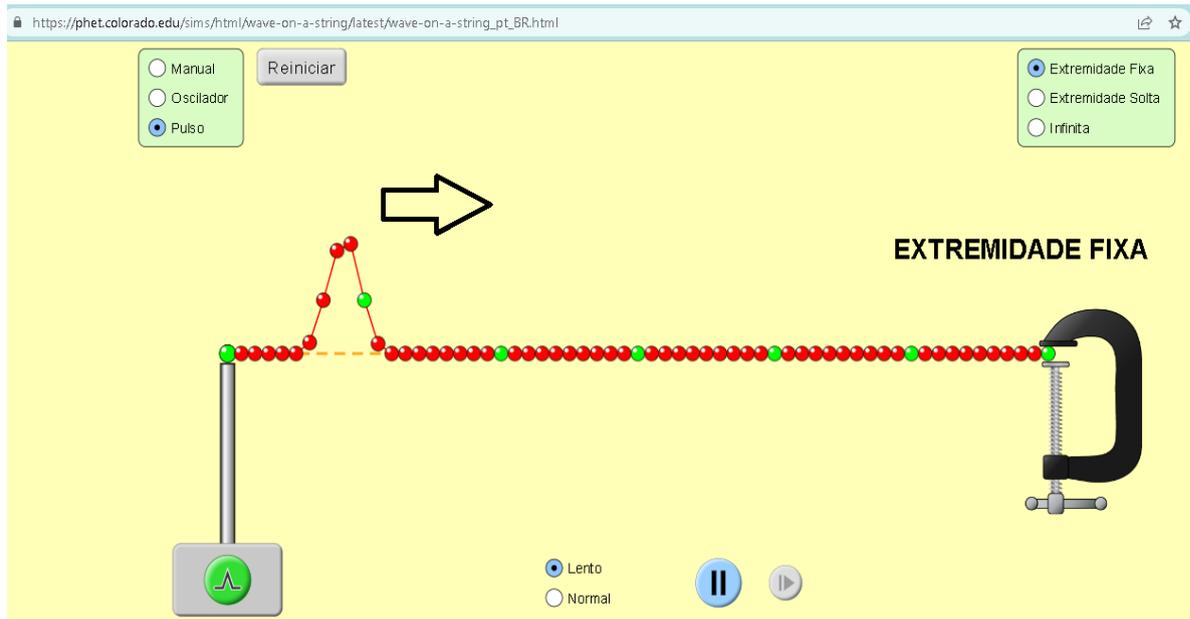
3: Ressonância em uma taça de cristal para abordar o fenômeno de ressonância. Sempre Incentivando a manipulação do experimento por parte dos alunos e instigando os mesmos a expor seus argumentos que liguem o experimento a parte teórica abordada. Antes de começar a construção do experimento, resolver junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre os fenômenos ondulatórios. Ficando como sugestão a utilização do relatório de atividade experimental no apêndice A.

Atividade N° 6

Objetivos	- Definir ondas sonoras. - Apresentar as qualidades fisiológicas do som. - Explicar os fenômenos das ondas estacionárias. (Uso do PhET)
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático e <i>datashow</i> .
Tempo estimado	- 50 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva dando uma introdução a acústica. Começando por definir o conceito de ondas sonoras. Apresentar as qualidades fisiológicas do som. (Altura, timbre e a intensidade sonora). Abordar de forma cuidadosa os conceitos de ondas estacionárias. Nesse ponto pode-se mais uma vez fazer uso da plataforma de interações PhET para mostrar aos alunos que as onda estacionárias são resultados dos fenômenos de reflexão e de interferência das ondas. Para isso é interessante que se realize essa atividade na sala de informática, ou em uma apresentação com *Datashow*. O simulador *online* servirá como ferramenta de sistematização do conteúdo, nele os alunos conseguirão visualizar a reflexão das ondas em uma corda com extremidade fixa e depois interferência entre os pulsos como alguns exemplos de reflexão com inversão de pulso na Figura 20 e na Figura 21.

Figura 22 - Pulso em corda com extremidade fixa



Fonte: Elaborado pelo autor / Via PhET.

Figura 23 - Inversão de fase da onda por reflexão em extremidade fixa.



Fonte: Elaborado pelo autor / Via PhET.

Assim, com a extremidade fixa, gerar dois a mais pulsos para os alunos verificarem que as ondas irão refletir e interferir criando padrões de ressonância. E ao final realizar junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre a aula.

Atividade N° 7

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Abordar o conceito de tubos sonoros. - Abordar a parte teórica dos tubos sonoros fechados. - Usar o Experimento 4: Identificando o primeiro harmônico em tubos sonoros para um melhor entendimento sobre o harmônico fundamental.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, canos de PVC ou qualquer tubo com um comprimento de meio metro. Um gerador de frequência sonora. (Esse gerador pode ser adquirido na galeria de aplicativos de um smartfone qualquer) E um balde com água suficiente para encher todo o cano de PVC.
Tempo estimado	- 50 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre o comportamento das ondas sonoras em tubos fechados. O professor deve frisar características e as equações que definem um tubo sonoro fechado. E assim, usar o Experimento 4, para identificação da ressonância e encontrar o harmônico fundamental. Como sugestão para essa prática, pode-se usar a equação de onda para tubos fechados para calcular com uma boa aproximação a velocidade do som. Sempre Incentivando a manipulação do experimento por parte dos alunos e instigando os mesmos a expor seus argumentos que liguem o experimento a parte teórica abordada. Antes de começar a construção do experimento, resolver junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre os fenômenos ondulatórios. Ficando como sugestão a utilização do relatório de atividade experimental no apêndice A.

Atividade N° 8

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Abordar a parte teórica dos tubos sonoros abertos. - Usar o Experimento 5: Construindo Tubos musicais para verificar a produção de frequências diferentes para tubos de tamanhos diferentes.
Materiais e Recursos	- Tubos de PVC em diferentes tamanhos com 40 mm de diâmetro. Arco de serra. Lixa para acabamento pós-corte. Lápis e borracha. Trena. Aplicativo de celular para verificar a frequência produzida pelos tubos PVC.
Tempo estimado	- 1 h 40 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre o comportamento das ondas sonoras em tubos abertos. O professor deve frisar características e as equações que definem um tubo sonoro aberto. E assim, usar o Experimento 5, para verificar a formação de frequências diferentes. Sempre Incentivando a manipulação do experimento por parte dos alunos e instigando os mesmos a expor seus argumentos que liguem o experimento a parte teórica abordada. Antes de começar a construção do experimento, resolver junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre os fenômenos ondulatórios. Ficando como sugestão a utilização do relatório de atividade experimental no apêndice A.

6 ANÁLISE QUALITATIVA DOS EXPERIMENTOS APLICADOS

A seguir será feita uma análise qualitativa sobre a aplicação do produto educacional descrito mencionado. Foram recolhidos dados através de uma pesquisa através do google sala de aula, uma ferramenta, na qual, passei a usar diariamente no período da quarentena pela COVID-19. Tal ferramenta foi um canal fundamental na organização do envio sistêmico de envio e recebimento de atividades na interação professor-aluno. A presente pesquisa teve como foco de análise verificar o impacto do uso de experimentos no ensino-aprendizado. Tentou-se aqui construir um material, uma ferramenta, um conhecimento para potencializar a tarefa árdua de aproximar o aluno ao ensino de ciências. Não só apontar uma falha ou dar uma opinião sobre o tema em questão.

As dificuldades para a execução de atividades experimentais não estão muito remotas dos mesmos desafios percebidos para a realização das tradicionais aulas expositivas em sala. Porém, as atividades experimentais exigem mais dedicação e preparação por parte do professor, para que as práticas de campo estejam relacionadas ao que está sendo apresentado em sala de aula. Além de outros fatores como já mencionado anteriormente, como a falta de estrutura, de materiais adequados, etc. Como podemos verificar numa pesquisa realizada por SOARES, Isabella (2018) sobre a concepções e dificuldades dos professores em relação a experimentação como metodologia de ensino. Onde foi questionado aos professores sobre as dificuldades encontradas para a utilização das atividades práticas em sala de aula e apresentadas na Figura 23.

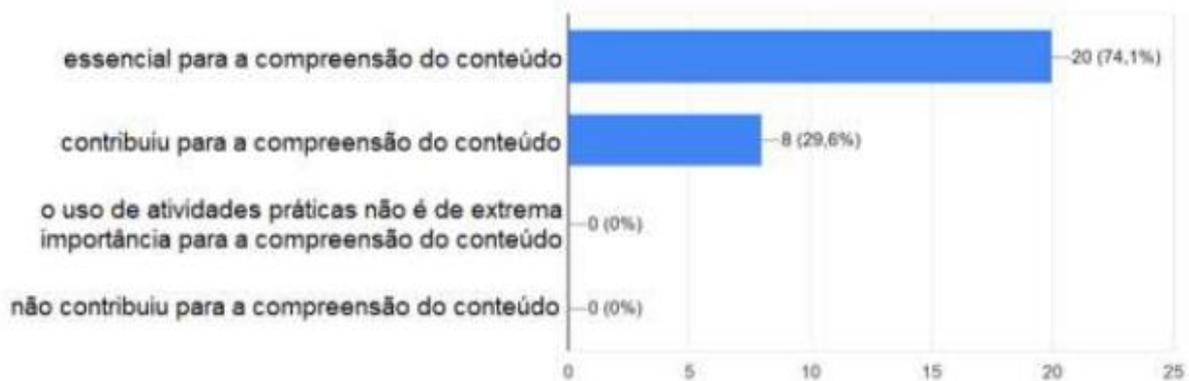
Figura 24 - Dificuldades encontradas para aplicação de atividades práticas em sala de aula.



Fonte: Soares (2018)

Ainda na mesma pesquisa foi questionado a opinião dos professores em relação a importância das aulas práticas para a formação como professor e o quanto que este tipo de atividade contribui para a compreensão do tema abordado em sala de aula como mostra a Figura 24.

Figura 25 - Concepção sobre a relevância do uso de experimentação para a formação docente

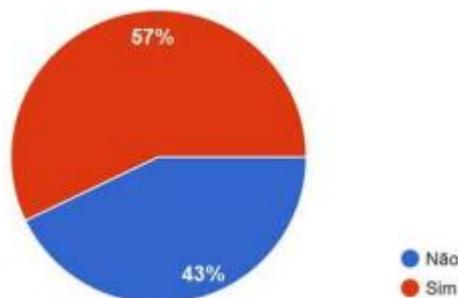


Fonte: Soares (2018)

Do gráfico acima, pode-se inferir que a maioria dos professores (aproximadamente 74%) acreditam que as atividades experimentais são essenciais para a compreensão. Ou seja, não há dúvidas, do reconhecimento, que aulas práticas são de fundamental importância em sua formação e conseqüentemente também no ensino básico.

Outro tópico, bastante interessante na pesquisa, foi questionamento aos professores se eles acreditavam ser sido preparados na sua graduação para aplicar aulas práticas em sala de aula. O resultado foi apresentado na Figura 25.

Figura 26 - Concepção dos professores em relação ao preparo durante a graduação para aplicar



Fonte: Soares (2018)

Tendo em vista esse reconhecimento por parte dos professores, iremos a partir de agora mencionar a pesquisa qualitativa realizada com 90 alunos de duas escolas diferentes em que foram questionados sobre o uso de atividades experimentais simples em sala de aula.

Os Alunos participantes da pesquisa foram do 9º ano do ensino fundamental (45 alunos) do Colégio Nossa Senhora Auxiliadora (escola particular localizado no centro da cidade de Fortaleza, no estado do Ceará) e com 60 alunos do 1º ano da Escola Estadual de Ensino Médio Mariano Martins (Escola do estado localizado próximo ao centro, também em Fortaleza, Ce). A pesquisa aconteceu através de forma *online* com um formulário do *google* sala de aula para três turmas com o questionário no Apêndice B.

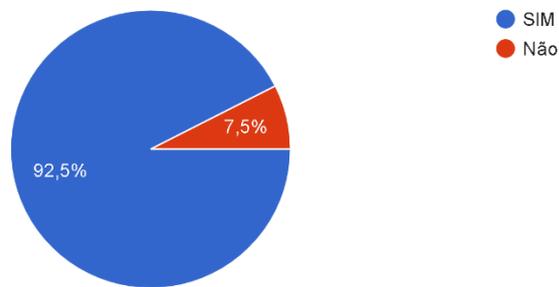
De um certo modo o questionário ainda fica muito tangente ao sentimento que é ver os alunos se envolvendo nas práticas, buscando apreciar a proposta experimental e buscando perceber o fenômeno físico envolvido. A partir daí, é necessário criatividade do docente para tentar instigar a curiosidade e a participação da criança na prática. É nesse momento que, ao estudar o ambiente, a criança estará se envolvendo em situações reais, com as quais está familiarizada. Isso torna a aprendizagem mais fácil e de forma dinâmica. E esse é um fator de grande importância dessa atividade, que é permitir a integração da criança no ambiente em que vive. E para se integrar no meio, a criança deve saber reconhecer os fenômenos e aproveitar os recursos e materiais disponíveis do ambiente. E para isso se faz necessário analisar seu ambiente de maneira crítica. Por exemplo, a excursão é a atividade escolar que permite o contato direto da criança com o ambiente, para estudá-lo na prática.

Assim, as questões respondidas pelos alunos podem transmitir algumas sensações percebidas ou sentidas no contato com as práticas experimentais realizadas por eles no produto educacional que os envolveram. De um modo geral, encontram-se a seguir todos os resultados das perguntas e alguns comentários referentes a alguns dos gráficos nas figuras que se seguem.

Como primeira pergunta indagamos aos alunos se gostavam de trabalhar com atividades na própria sala de aula. É notório que, mesmo em sala, os alunos apreciam atividades que irão tira-los do corriqueiro. E a resposta foi muito positiva, cerca de 95% gostam de participar com atividades em sala.

Figura 27 – Gosto de Trabalhar com manipulação de materiais e elementos

Gosto de trabalhar com manipulação de materiais e elementos, mesmo que seja em sala de aula
80 respostas

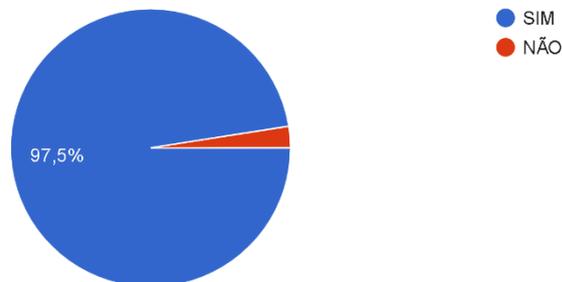


Fonte: elaborado pelo autor

A partir desse gráfico, podemos perceber que a grande maioria (92,5%) gostam de manipular, interagir com elementos, mesmo em sala de aula. Fato que ficou evidente na participação massiva dos alunos em cada experimento proposto. Favorecendo a ideia que a prática atrai a atenção e contribui de forma positiva com a abordagem teórica.

Figura 28 – Você considera a atividade experimental realizada em sala de aula importante?

Você considera a atividade experimental realizada em sala de aula importante?
80 respostas



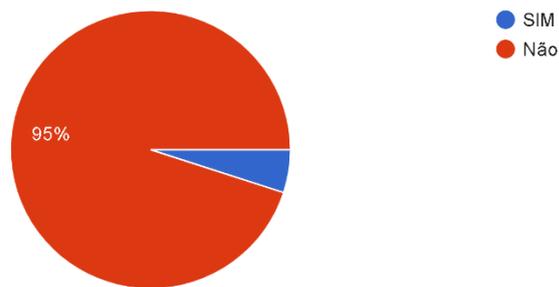
Fonte: elaborado pelo autor

Mais uma vez a resposta SIM, 97,5 % apresenta um percentual expressivo, comparável ao da questão anterior, reafirmando que gostam e acham importante as atividades experimentais. Esse resultado expressivo apoia a realização de atividades simples em sala de aula e constitui um importante recurso metodológico favorável ao processo de ensino-aprendizagem nas disciplinas da área das Ciências da Natureza. Aliando teoria à prática, experimentação, viabiliza o desenvolvimento da pesquisa e da problematização em sala de aula, despertando a curiosidade e o interesse do aluno. Reafirmando o fato de transformar o estudante em sujeito da aprendizagem, possibilitando que o mesmo desenvolva habilidades e competências específicas.

Figura 29 – Ao realizar a atividade em sala de aula considere uma perda de tempo

Ao realizar a atividade experimental em sala de aula considere uma perda de tempo.

80 respostas

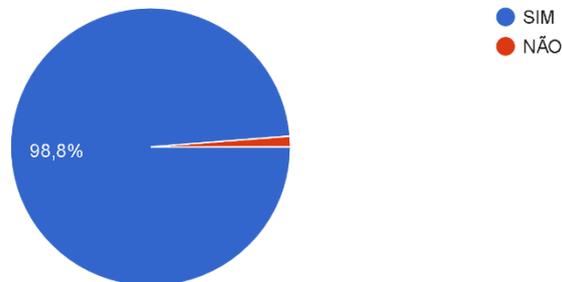


Fonte: elaborado pelo autor

Nesse gráfico, apesar da grande maioria (95%) não concordar que as atividades experimentais em sala de aula ser uma perda de tempo, para uma parte menor (5%) foi uma perda de tempo. Realmente, a prática não consegue atingir a todos do mesmo modo, terão aqueles alunos em que é preciso um esforço maior para mostrar a importância do momento proposto.

Figura 30 – Os experimentos ajudam-me a esclarecer os conteúdos teóricos

Os experimentos ajudam-me a esclarecer os conteúdos teóricos.
80 respostas

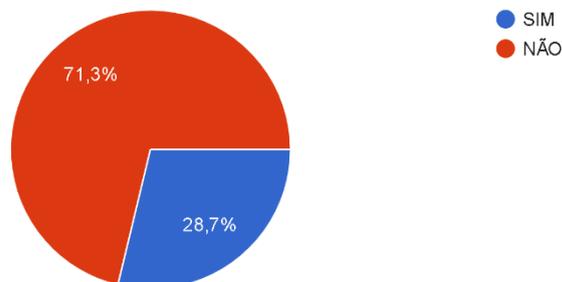


Fonte: elaborado pelo autor

Aqui podemos perceber que quase a totalidade dos alunos, cerca de 98,8%, consideram que os experimentos os ajudam a entender a teoria. Esse gráfico é bastante animador, pois a ideia de uma postura experimental está ligada à exploração do novo e à incerteza de se alcançar o sucesso nos resultados da pesquisa. Embora se possa estar bastante convicto dos resultados, muitas coisas podem acontecer. Como, o experimento não funcionar, ou não conseguir que o discente visualize os fenômenos ou outro fator qualquer. Mas, sempre podemos ligar as práticas experimentais a ideia de ação e de contato com o fenômeno estudado e que pode ser considerado como sinônimo de método científico.

Figura 31 – A atividade experimental em sala de aula pouco acrescentou ao meu conhecimento

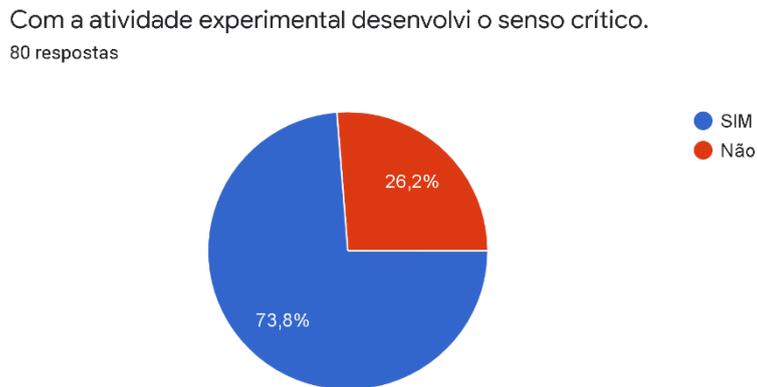
A atividade experimental em sala de aula pouco acrescentou ao meu conhecimento.
80 respostas



Fonte: elaborado pelo autor

Nesta questão podemos ver que 26,7 % responderam que a atividade não contribuiu para o seu conhecimento. A grande maioria, 71,3 %, concordou. Como as atividades experimentais foram realizadas após as aulas teóricas, alguns alunos podem não ter a consciência de que os experimentos realizados reforçaram os conhecimentos teóricos e por isso responderam não. Ou talvez, possa ter ocorrido uma interpretação diferente da pergunta proposta.

Figura 32 – com a atividade experimental desenvolvi o senso crítico



Fonte: elaborado pelo autor

Nesta questão podemos ver que 26,2 % responderam que a atividade não contribuiu para o desenvolvimento do senso crítico. Embora a grande maioria, 73,8 %, tenha concordado que sim, nossa percepção é que pode ser possível que alguns alunos não tenham entendido que o “senso crítico” se refere aos fenômenos acústicos.

Figura 33 – Participei da atividade apenas porque fui obrigado



Fonte: elaborado pelo autor

Nesse gráfico temos uma porcentagem bem expressiva (98,8%) de alunos que participaram da prática de forma espontânea. Fato esse que faz alusão ao momento das práticas experimentais onde se teve uma participação ativa da maioria dos alunos na aquisição dos materiais, construção e organização dos experimentos buscando chegar nos resultados fenomenológicos propostos.

Figura 34 – Considero muito bom realizar atividades experimentais



Fonte: elaborado pelo autor

Nesse gráfico podemos perceber o gostar dos alunos no que toca a realização de atividades experimentais numa pergunta feita de modo direto. Cerca de 97,5% deles gostam da prática experimental. Fato esse levantado no início deste trabalho. Nesse ponto, pode-se ressaltar, como já fora dito nesse trabalho, que para ser potencialmente significativo, “o material de aprendizagem deve estar pautado no querer saber do aprendiz,”

Figura 35 – Executei a atividade sem prestar muita atenção



Fonte: elaborado pelo autor

Como as atividades foram realizadas em ambientes fora da sala de aula, como na quadra, um ambiente de fácil dispersão, e como não dispúnhamos de equipamentos para todos, foi muito difícil manter a atenção de todos em todos os momentos, mas mesmo levando em conta essas questões, somente 7,5 % consideraram que não prestaram muita atenção.

Figura 36 - Entendo os fenômenos físicos que ocorreram na atividade experimental



Fonte: elaborado pelo autor

Neste último gráfico, e não mesmo importante, podemos perceber que a maioria (81,3%) conseguiu entender o fenômeno físico ligado a prática. Fato esse buscado pela ideia dessa atividade experimental. Embora 18,8% não conseguiu entender o fenômeno físico, cabe ao professor tentar buscar identificar a dificuldade desses alunos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na busca de sempre buscar uma melhora no ensino-aprendizagem, verifica-se que apenas a apresentação teórica dos conceitos em sala de aula, através de longas aulas expositivas não basta para despertar o interesse e a atenção dos alunos aos conteúdos abordados pelas disciplinas de ciências como um todo, principalmente quando são desenvolvidos assuntos com um grau maior de abstração, como o ensino de ondas sonoras. Onde, se faz uso de muitas fórmulas e cálculos. Assim, pode-se fazer uso de recursos que podem ajudar na tarefa, como: realização de exercícios, trabalhos em grupo e a realização de atividades experimentais. Embora as atividades experimentais, mesmo sendo simples, podem trazer alguns desafios, como: baixa criatividade por parte do docente, motivação do professor e do aluno, tempo necessário para a preparação e para a realização das atividades práticas ou de laboratório e disponibilidade de recurso, equipamentos e espaço adequado. Problemas encontrados em um número considerável de escolas. Porém, quando ocorre a superação dessas barreiras, é nítido uma melhora no entendimento e entusiasmo sobre o que está sendo estudado.

Práticas experimentais simples, mesmo em sala de aula, podem contribuir muito para o ensino de ciências como um todo. Com um potencial enorme contribuição para o progressivo desvendamento que a criança vai realizando a respeito do seu mundo. Sempre lembrando que, para as práticas poderem contribuir efetivamente nesse sentido, a aprendizagem tem que respeitar o estágio de desenvolvimento da aprendizagem da criança. Pois, o pensamento infantil ainda está profundamente ligado às experiências pessoais e ao envolvimento direto da criança com o assunto. Esse fato, da criança se ligar predominantemente ao concreto, ao que foi vivido por ela, também apoia e faz um elo com esse trabalho.

As considerações feitas nos permitem perceber diversos papéis educacionais para a atividade experimental. Entretanto, nenhum deles consiste em querer contestar os métodos praticados atualmente, e muito menos passar a ideia que a criança já deve ser um cientista desde cedo. O presente trabalho faz, como em muitos trabalhos atuais, atrelar as práticas experimentais simples ao ensino atual. Em vista de um cenário em que o ensino de ciências é tido como difícil e coisa de outro mundo, incentivar tentativas de trazer alternativas que possam dinamizar o ensino de ciências é sempre bem-vindo.

A análise feita aqui também permite depreender que o fato de muitas escolas não terem laboratórios sofisticados não impossibilita a realização de atividades experimentais. Pois a proposta aqui faz alusão a atividades experimentais simples utilizando materiais de baixo

custo no qual os discentes têm acesso diário a tais elementos do experimento. As vezes acontece de a criança pode ser levada ao laboratório, utilizar determinados equipamentos tecnológicos avançados, e estar realizando estudos dirigidos práticos, de forma diretiva para um determinado conceito. Isso é também uma ferramenta muito útil, porém, neste caso estarão mais realizando atividades práticas, que necessariamente experimentais. Outro detalhe que convém ressaltar nesse momento é que a ida ao laboratório ocorra de preferência após a falta de criatividade com as possibilidades de investigar o fenômeno nas suas condições naturais. Nesse caso, dessa forma, auxilia-se a criança a desenvolver o seu senso crítico, e a capacidade de prestar atenção na realidade que a cerca. Desmistificando a mensagem equivocada de que a atividade prática de ciência tem algo de místico ou extraordinário e de difícil acesso, em que os equipamentos e substâncias que fazem a mágica acontecer no laboratório adquiram um significado equivalente as cartas utilizadas pelo mágico no circo.

De acordo com dados adquiridos na pesquisa, a prática experimental simples em sala de aula, teve um resultado motivador para os alunos(as) no desenvolvimento de uma aprendizagem de forma significativa. Sempre fazendo uso dos subsunçores particulares dos estudantes, a proposta didática proporcionou indícios de desenvolvimento dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais dos discentes. Contribuindo assim nos desenvolvimentos dos conceitos do assunto teórico abordado. Nas práticas experimentais, constatou-se um maior engajamento dos discentes, que a cada experimento proposto, participavam da construção e manipulações nas práticas. Influenciando o debate, as hipóteses e soluções para os problemas, fortalecendo a aprendizagem significativa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. L.; CUSTÓDIO COURA, D. J.; PESSOA, M. S.; BENTO, S. S.; MOSCON, P. S. Ensino de ressonância eletromagnética. **Física na Escola**, [S.l.], v. 17, n. 1, 2019. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol17-Num1/a09.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2022.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003. Disponível em: http://www.uel.br/pos/ecb/pages/arquivos/Ausubel_2000_Aquisicao%20e%20retencao%20de%20conhecimentos.pdf. Acesso em: 17 jun. 2022.
- AUSUBEL, D.P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- BORGES, A.T.; RODRIGUES, B.A. O Ensino da Física do Som baseado em Investigações. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, [S.l.], v. 7, n. 2, dez.2005. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6575/1/2010_MarceloMonteiroPinto.pdf. Acesso em: 28 set. 2022
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Brasília, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2022.
- DONOSO, J.P.; TANNÚS, A.; GUIMARÃES, F.; FREITAS, T.C. A Física do Violino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.l.], v. 30, n. 2, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/C3nWHMpYS6gZpmBmvF9BFcw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2022
- COSTA, K. D’M.; SOLTAU, S. B. A física da flauta doce: um estudo das notas nas posições comuns e alternativas. **Caderno de física da UEFS**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 1-13, 2016.
- EXPLICATORIUM. **Característica das ondas**. Explicatorium 2008 – 20. Disponível em: <http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html>. Acesso em: 25 maio 2022
- FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, R. C. Ensino Experimental de Química: Uma Abordagem Investigativa Contextualizada. **Química nova escola pesquisa em ensino**, [S.l.], v. 32, n. 2, maio 2010. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2011/quimica/artigos/ens_exp_quim_art.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

FRACALANZA, H.; AMARAL, I.A.; GOUVEIA, M.S.F. **O ensino de Ciências no Primeiro Grau**. São Paulo: Atual, 1987. 124 p. Disponível em: <file:///D:/Mestrado/cefoco,+Informacao-Uti-Ensino-de-Ci-1oGrau.pdf>. Acesso em: 25 maio 2022

GALIAZZI, M. D. C.; GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Química Nova**, [S.l.], v. 27, n. 2, p. 326-331, 2004. Disponível em: http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol27No2_326_26-ED02257.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

GIORDAN, M. O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências. **Química Nova na Escola**, [S.l.], v. 2, 1999. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2022.

GOUVEIA, R. **Velocidade do som**. 2011 – 2022. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/velocidade-do-som/>. Acesso em: 25 maio 2022

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**: Gravitação, ondas e termodinâmica. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 296 p.

HAMBURGER, E. W. **Laboratório de Demonstrações**: Instituto de Física – USP (2022) Disponível em: <https://labdemo.if.usp.br/mola-helicoidal/> Acesso em: 27 jun. 2022.

HELERBROCK, R. **Ressonância**. 2022. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ressonancia.htm>. Acesso em: 05 jun. 2022.

KANDUS, A.; GUTMANN, F.W.; CASTILHO, C. M. C. A física das oscilações mecânicas em instrumentos musicais: Exemplo do berimbau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, pp. 427-433, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/DqDwhHCJy5jB5mxRHmtsdsS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 set. 2022

MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. **A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da física**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/pjKxswmtkZSM498DkmysDyq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 jun. 2022

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Revista cultural**, La Laguna, v. 2, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2019.

MOREIRA, M. A. **Organizadores prévios e aprendizagem significativa**. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/ORGANIZADORESport.pdf>. Acesso em: 18 jun 2022

MACIEL NETO, A. S. **Sequência didática para aprendizagem significativa para acústica física e acústica musical, relativa aos tubos sonoros, utilizando organizadores prévios e atividades experimentais com tubos de Kundt**. 2019, 84 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional Em Ensino De Física) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

NUSSENZVEIG, H. M. **Física básica 2: fluidos oscilações e ondas calor**. 4. ed. São Paulo: Edgard blucher ltd., 2002. 314 p

PhET. Physics Education Technology. Disponível em: <http://phet.colorado.edu/>. Acesso em: 20 jun. 2022

SILVA, G. de C. **Projetos de Física Experimental – UFLA Ondas estacionárias em cordas**. 2019. Disponível em: https://projetosfisicaexperimental.blogspot.com/2019/12/ondas-estacionarias-em-cordas_16.html. Acesso em: 10 jun. 2022.

SOARES, I. **Análise da concepção docente frente ao uso da experimentação no ensino de ciências**. 2018. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação) - Universidade de Tecnológica do Paraná, Londrina, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22108/1/analiseconcepcaodocenteexperimentacao.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

VALERIO, M. **Departamento de Psicologia, Disciplina: Aprendizagem e Ensino**. 1999. Disponível em: <http://www.xr.pro.br/monografias/ausubel.html> Acesso em 17 jun 2022

VYGOTSKY, L.S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

APENDICE A – RELATÓRIO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL SIMPLES

Aluno:	Série:
Disciplina:	Data:
Professor:	
Experimento:	
Anotações sobre as observações feitas durante a realização do experimento	
Materiais utilizados	
Objetivo do experimento	
Procedimentos sobre como realizar o experimento	
Questões, dúvidas e curiosidades que surgiram durante a aula prática	
Resultados e Conclusões	

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO AVALIATIVO DO EXPERIMENTO REALIZADO

A SER PREENCHIDO PELOS ALUNOS

Marque com um X no que você considera ser sua opinião.			
N	QUESTÕES AVALIATIVAS	SIM	Não
1	De maneira geral, eu gosto de participar das atividades realizadas em sala de aula		
2	Gosto de trabalhar com manipulação de materiais e elementos, mesmo que seja em sala de aula		
3	Você considera a atividade experimental realizada em sala de aula importante?		
4	Ao realizar a atividade experimental em sala de aula considere uma perda de tempo.		
5	Os experimentos ajudam-me a esclarecer os conteúdos teóricos.		
6	A atividade experimental em sala de aula pouco acrescentou ao meu conhecimento.		
7	Com a atividade experimental desenvolvi o senso crítico.		
8	Particpei da atividade apenas porque fui obrigado.		
9	Considero muito bom realizar atividades experimentais		
10	Executei a atividade sem prestar muita atenção.		
11	Entendo os fenômenos físicos que ocorreram na atividade experimental		
12	A atividade experimental deixou-me impaciente.		

APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL**MACKSON KERLLEY FREIRE DA SILVA****PROPOSTA DE ENSINO DE ONDAS SONORAS COM APLICAÇÃO DE EXPERIMENTOS
SIMPLES EM SALA DE AULA**

PRODUTO EDUCACIONAL da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias.

FORTALEZA
2021

SUMÁRIO

1- APRESENTAÇÃO.....	85
2- A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	86
3- ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	89
4- DESENVOLVENDO AS ATIVIDADES.....	103
REFERENCIAS.....	112

1 APRESENTAÇÃO

Neste produto educacional, o professor encontrará conjuntos experimentais para abordar o assunto de ondas sonoras relacionados a ondulatória. Os conjuntos foram construídos utilizando-se de materiais simples e acessíveis aos professores e alunos. Assim como foram preparados também práticas experimentais com roteiros para subtópico do tema. A maior parte das atividades, envolve a utilização de materiais simples para que os estudantes tenham a possibilidade de estudar os fenômenos ligados ao estudo de onda e acústica, como os fenômenos da reflexão sonora, estudo da ressonância, bem como o estudo da acústica. Esse trabalho é fruto de uma dissertação de mestrado cujo o título é “PROPOSTA DE ENSINO DE ONDAS SONORAS COM APLICAÇÃO DE EXPERIMENTOS SIMPLES EM SALA DE AULA”.

De início apresentou-se a dinâmica de aplicação da Sequência Didática, juntamente com os materiais utilizados para os experimentos, e para cada atividade é demonstrado o assunto, assim como cada roteiro experimental a ser utilizado e aplicado pelo professor. Vale destacar que as atividades propostas podem ser utilizadas tanto em laboratório de ciências, quanto na própria sala de aula. Logo, cada professor deve avaliar as melhores condições de aplicação, assim como ficar à vontade para realizar adaptações condizentes com a realidade da sua turma. O importante é que esse produto educacional consiga atingir seu objetivo de motivar e promover o aprendizado para os estudantes e também professores.

Mackson Kerlley Freire da Silva e **Prof. Dr.** Nildo Loiola Dias

Os autores

2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A seguir dá-se a implementação do produto educacional, adaptando o uso de experimentos em cada aula. O Quadro 1 mostra um resumo do conjunto de atividades desta SD. O presente trabalho aqui tem a pretensão de incentivar a busca de uma estratégia pedagógica que fuja às práticas comuns, é fundamental está empenhado no desafio de unir as metodologias tradicionais às novas propostas de construir o conhecimento, do contrário as práticas comuns podem perder o entusiasmo e não motivando o discente a ver o brilho de aprender ciência. Em meio a um mundo tão tecnológico, essa tendência só será compreendida e debatida se o docente estiver atento e aberto às outras perspectivas de transmitir o conhecimento. É interessante mencionar que, aqui não se procura desincentivar o uso de provas escritas, resolução de listas de exercício, aulas expositivas, cobrar empenho dos educandos, etc. O método buscado aqui é promover reflexões sobre a natureza do aprender científico em sala de aula.

Por isso, um esforço do professor, estruturado e com fundamento didático, para envolver os alunos no trabalho experimental insere-se no contexto mais geral da mediação do professor para promover a aprendizagem eficaz dos alunos. Para isso, basta que haja relação entre aquilo que o aprendiz já sabe e o que está aprendendo. O uso do laboratório ou o uso de experimentos simples na própria sala de aula podem estimular a curiosidade dos alunos, mas para isso, é necessário que estes sejam desafiados cognitivamente. Muitas vezes, a falta de estímulo demonstrado pelos alunos poderá ser um reflexo do tipo de aula utilizada pelo professor.

O início da SD se dá por meio de aula teórica em quadro negro (lousa) discorrendo sobre o conteúdo de “ondas” na disciplina de Física, especificando as ondas sonoras. Nesse momento devem ser explanados conceitos e teorias sobre o tema.

No segundo momento apresenta-se aos alunos por meio de interações animadas de alguns experimentos por meio da plataforma PhET (SIMULAÇÕES INTERATIVAS), para que os alunos pudessem compreender a dinâmica da propagação das ondas sonoras.

Em seguida, deve-se implementar o produto educacional, adaptando o uso de experimentos em cada aula. O Quadro 1 mostra um resumo do conjunto de atividades desta SD.

Quadro 1 - Atividades da Sequência Didática

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	TEMPO ESTIMADO
1°	Apresentação da SD, explanação da dinâmica das aulas e a aplicações dos experimentos.	30min
2°	Aula introdutória sobre Ondas. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Exemplos de fenômenos ondulatórios na natureza ✓ Características da natureza de uma onda. Experimento 1: Telefone de fio e copos.	1h10min
3°	Forma de propagação de uma onda. <ul style="list-style-type: none"> ✓ (Uso do PhET) Ondas transversais e longitudinais. Uso do experimento 2: Mola Slinky. 	50 min
4°	Características de uma onda. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Velocidade de propagação. ✓ Comprimento de uma onda. ✓ Amplitude de uma onda. ✓ Período e frequência de oscilação de uma onda. (Uso do PhET) 	1 h 40 min
5°	Fenômenos ondulatórios. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Reflexão. Uso do experimento 2: Mola Slinky ✓ Refração. ✓ Interferência. ✓ Difração. ✓ Ressonância. Experimento 3: Ressonância em uma taça de cristal. ✓ Polarização. 	1 h 40 min
6°	Introdução a acústica <ul style="list-style-type: none"> ✓ Qualidades fisiológicas do som. (Altura, timbre e intensidade sonora) 	50 min

	✓ Ondas estacionárias	
7°	Tubos sonoros ✓ Tubo fechado. Experimento 4: Identificando o primeiro harmônico em tubos sonoros.	50 min
8°	Tubo fechado. Experimento 5: Construindo Tubos musicais	1 h 40 min

Vale voltar ressaltar aqui que esse é um quadro de atividades propostas pelo produto educacional, e que cada docente poderá adaptar o que julgar necessário, tendo em vista que cada classe de alunos tem as suas particularidades. Tais atividades aqui propostas são exemplos de como podemos adaptar as atividades experimentais em qualquer aula. Sempre buscando ser criativo e buscando interações que possam trazer a atenção dos alunos para fenômenos que irão contribuir na proposta de cada aula.

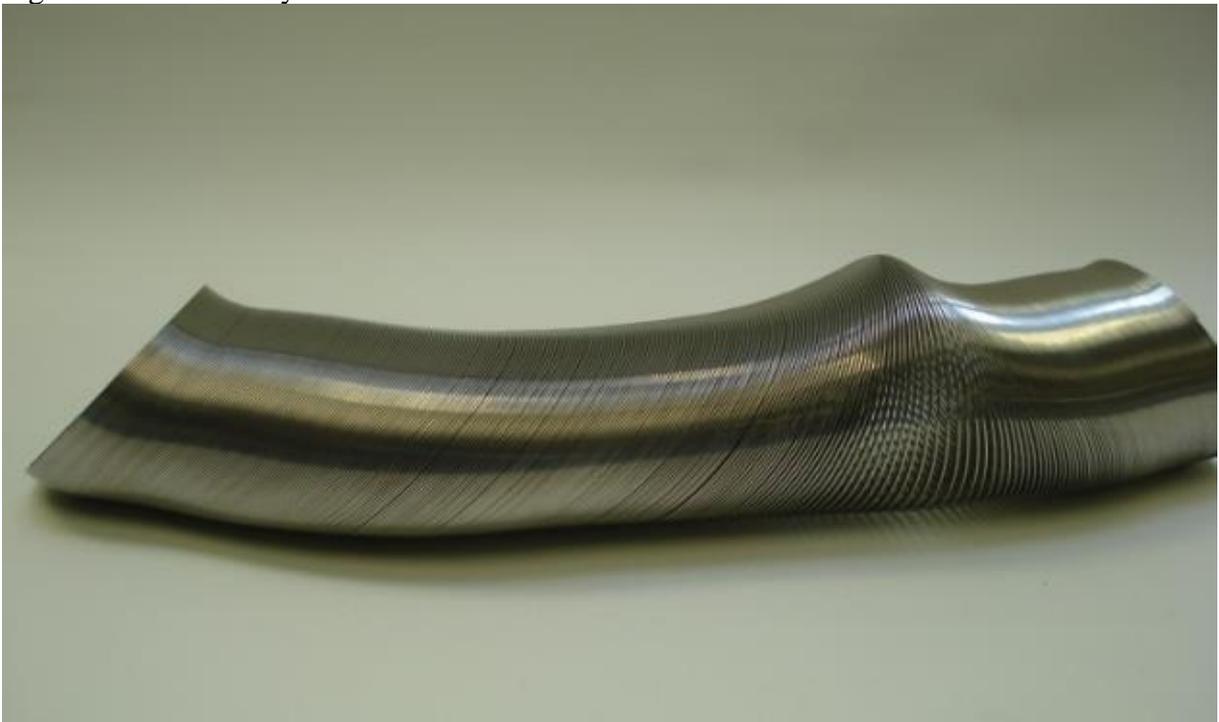
3 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DO PRODUTO EDUCACIONAL

Nesse capítulo serão abordados os experimentos que foram usados nesse trabalho para relacionar a teoria com fenômenos ligados ao dia-a-dia do discente. Levando em consideração que são sugestões de cunho aberto a ser adaptado pelo professor e a realidade daqueles nos quais pretende-se melhorar o ensino-aprendizagem de ciências. Demonstrando sempre a ideia de que o ensino de ciências deve ser abordado de forma dinâmica e interessante.

Experimento 1: Mola Slinky

É sempre interessante começar o bloco de experimentos de forma bem simples e introdutória, pensando sempre no que foi ministrado de forma teórica. No caso, o que é logo citado é a característica de propagação de uma onda, que pode ser transversal ou longitudinal. Pensando nisso, como primeiro experimento usaremos uma mola conhecida como ‘slinky’, do tipo helicoidal feita de aço. Há também molas Slinky de plástico, normalmente vendidas em lojas de produtos para aniversário, são bem mais baratas.

Figura 1 - Mola Slinky



Fonte: HAMBURGER, Ernst Wolfgang. (2022)

Com esta mola, poderemos ver a formação de uma onda. Quando esticada sobre a mesa, a mola pode transmitir uma perturbação através dela, e esta perturbação que se propaga através da mola é chamada de onda. Podemos citar que a onda é a energia em movimento, ou seja, uma perturbação propagada e que não deve ser confundida com o meio de propagação. Uma onda é chamada de longitudinal, quando o sentido de vibração da perturbação está na mesma direção de propagação da onda. Como podemos ver no experimento da mola slinky. Encolhendo e soltando a mola rapidamente podemos ver um pulso se propagando através da mola, cuja direção de vibração será a mesma da direção de propagação desta onda. Outro exemplo deste tipo de onda, chamado de onda longitudinal, é a onda sonora. O som se propaga por meio da vibração do ar na mesma direção da sua propagação.

Há também as ondas do tipo transversal. Que ocorre no caso desta mola, quando a perturbação é feita na direção perpendicular ao seu comprimento. Para isto, basta darmos uma batida com a mão na lateral da mola. A perturbação provocada irá se propagar através da mola com a direção de vibração perpendicular à direção de propagação da onda. Além disso, podemos visualizar outro efeito. No instante em que esta onda transversal se reflete na outra extremidade, ela muda a sua fase. Ou seja. Se antes da reflexão esta onda se propagava com o ventre do lado esquerdo, após a reflexão ela retorna com o ventre do lado direito e vice-versa. Levando em consideração que a extremidade da mola está presa. Em nosso cotidiano há vários outros exemplos de ondas transversais em que podemos observar essas propriedades e características. Como as ondas na superfície da água, as ondas numa corda de violão ou as ondas eletromagnéticas.

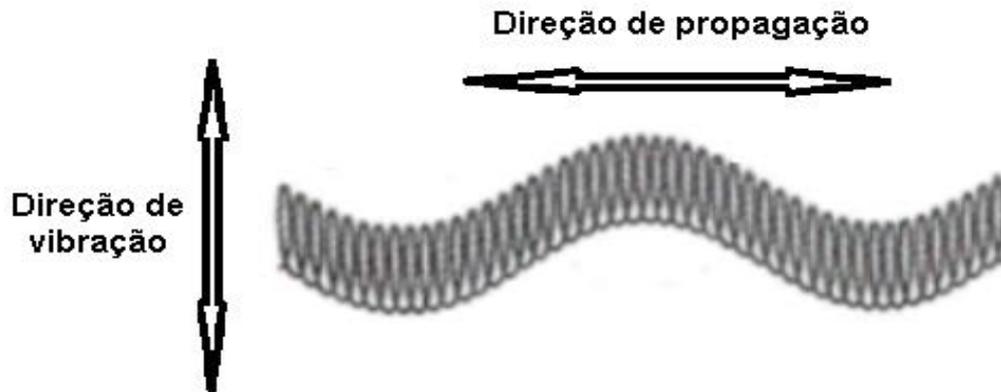
Procedimento experimental.

Objetivo: Verificar a formação das ondas transversais e longitudinais com Molas Slinky e entender as suas características

Material: Mola Slinky ou uma mola flexível de um tamanho que dê para verificar o fenômeno.

Procedimento: Estique a mola em dois pontos distantes numa superfície horizontal. Fixe uma das extremidades e com a mão, afaste rapidamente a extremidade livre da mola para a esquerda e para a direita em um movimento de vibração perpendicular ao sentido de alongação da mola.

Figura 2 - Direção de propagação numa onda transversal



Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, ainda com a mola bem esticada e em repouso, contraia e distenda rapidamente um certo número de espiras no início da mola e observe a propagação.

Figura 3 - Direção de propagação numa onda longitudinal



Fonte: elaborado pelo autor.

Quando aplicamos as atividades experimentais não dispúnhamos de uma mola Slinky, por isso essa atividade não foi realizada com os nossos alunos. Mas recomendamos como uma atividade inicial sobre ondas sonoras.

Experimento 2: Telefone com fio e copos

Nesse ponto fica evidente que as ondas mecânicas podem se propagar através de qualquer meio material, podendo ele ser, sólido, líquido ou gasoso. Com exceção das ondas na superfície da água que são transversais, os fluidos não suportam forças de cisalhamento e isso faz com que as partículas do meio oscilem sempre na mesma direção em que a onda se move.

Tendo em vista tais características da onda sonora pode-se compreender como se estabelece o mecanismo do Telefone de copo. Quando uma onda sonora unidimensional é gerada próximo ao copo fixado nas extremidades do fio, a onda comprime e expande alternadamente o ar próximo. Essa perturbação faz vibrar o fundo do copo e conseqüentemente o fio do barbante esticado. Assim o som viaja ao longo do fio como uma onda sonora. À medida que a onda passa por um ponto qualquer, as moléculas do barbante se movem, para frente e para trás em torno de seu ponto de equilíbrio, paralelamente à direção de propagação da onda. Quando a onda sonora chega à outra extremidade do fio, ela faz vibrar o fundo do copo receptor e que por conseguinte faz vibrar o ar dentro do copo. Essa vibração do ar chega até os ouvidos que são responsáveis pela captação do som. O som, portanto, é enviado para o cérebro para ser interpretado e assim definitivamente ouvido.

Como segundo experimento, busquei uma prática que pudesse fazer o estudante verificar as características físicas de uma onda sonora, como o fato dela se propagar em um meio físico material ou a diferença na velocidade de propagação em meios diversos, como é o caso desse primeiro experimento. O trabalho consiste em construir um telefone de latinha, com latas ou copos plásticos descartáveis, ou até mesmo copos de requeijão, também de plástico, interligados por um fio plástico de 10 m (ou outro valor previamente estipulado pelo professor). A prova do trabalho é estabelecer uma mínima comunicação de forma clara e limpa através do experimento entre duas pessoas separadas por uma distância onde na qual por meio do ar, não seria possível ouvir as mesmas.

Os materiais utilizados serão objetos do dia a dia do aluno, como tesoura, pregos pequenos, copos de plásticos (como os usados em embalagens de requeijão) fio de barbante. Pois os mesmos devem sentir a simplicidade do trabalho de modo a poder construir em sua casa e absorver a essência do fenômeno físico por trás do produto e entender também de forma descomplicada os aspectos buscados na prática.

Procedimento experimental

Objetivo: Verificar a propagação das ondas sonoras em diferentes meios.

Material: Dois copos descartáveis ou dois copos de requeijão secos (aqui pode-se usar latas de metal vazias e limpas que podem ser de milho, ervilha, leite condensado, etc.). Dez metros de barbante fino e martelo e um prego para fazer o furo no copo.

Procedimento: Com cuidado e sobre supervisão do professor ou uma pessoa adulta, prepare o copo de requeijão retirando devidas imperfeições e deixando-o limpo. (Caso for

utilizado latas, amasse as bordas das latas com um martelo pequeno ou com um alicate. É preciso fazer isso para que não haja perigo do aluno se cortar quando estiver realizando o procedimento). Usando um preguinho fino, faça um furo bem no centro do fundo de cada copo. Enfie uma ponta do barbante no furo do copo, de fora para dentro. Depois, dê um nó na ponta do barbante para que ele não escape. Faça o mesmo do outro lado. Prenda em cada extremidade os diferentes fios de barbantes (que podem ser de nylon ou de lã) um copo plástico de requeijão; estique o fio sem deixar que o dedo toque no fio amortecendo ou impedindo a propagação das ondas sonoras.

Figura 4 - Telefone de copos finalizados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 - Telefone com fio e copo descartável com duas extremidades



Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda o mesmo experimento do telefone de latinha pode ter mais de duas extremidades como é o caso da foto abaixo.

Figura 6 - Telefone com fio e copo descartável com 4 extremidades



Fonte: elaborado pelo autor.

Experimento 3: Ressonância em uma taça de cristal

Esse experimento é bastante conhecido, pois está presente em programas correntes na rede de TV aberta. Em tais programas, envolve quebrar uma taça ao cantar determinadas notas musicais produzidas com a voz. Isso só é possível quando cantamos exatamente na frequência fundamental ou em um múltiplo dessa frequência. Se o estímulo sonoro for mantido por tempo suficiente, as moléculas presentes na taça passarão a oscilar em amplitudes cada vez maiores até que a taça quebre.

Neste experimento busca-se fazer o aluno compreender o fenômeno da ressonância das ondas sonoras. Pois, ele será um fenômeno bastante sentido no dia a dia dos estudantes e em outras práticas estabelecidas no presente trabalho.

Usaremos os medidores de frequência através de aplicativos de celular para medir as diferentes frequências produzidas nas taças com níveis diferentes de água e depois pegar essas frequências e tentar através do app produzir ressonância nas taças com um canudo dentro

Para começar, devemos lembrar como é produzida a nossa voz. Uma sequência de músculos comprime o pulmão e movimenta o ar que sai através da laringe. Na extremidade da laringe tem um conjunto de músculos que são chamados pregas vocais. As pregas vocais podem interromper a passagem do ar e causar no ar vibrações em frequências bem específicas, chamadas também de altura do som. A altura do som está relacionada a frequência sonora, assim sendo, alturas maiores (sons altos) serão sons agudos (altas frequências) e alturas menores (sons baixos) são chamados sons graves (baixas frequências).

Quanto mais energia é transportada pela onda, maior será a intensidade dessa onda no nosso ouvido ou maior será o impacto dela onde ela estiver causando algum fenômeno. Podemos descrever a Intensidade da onda sonora “I” como a razão entre a variação de energia “E” e o produto da área “A” e a variação do tempo “t”.

$$I = \Delta E / A \cdot \Delta t \quad (4.1)$$

Como a Potência “P” é a razão entre a energia “E” e o tempo “t” podemos escrever ainda que a intensidade sonora é a razão entre a potência “P” e a área “A”.

$$I = \Delta E / A \cdot \Delta t \quad (4.2)$$

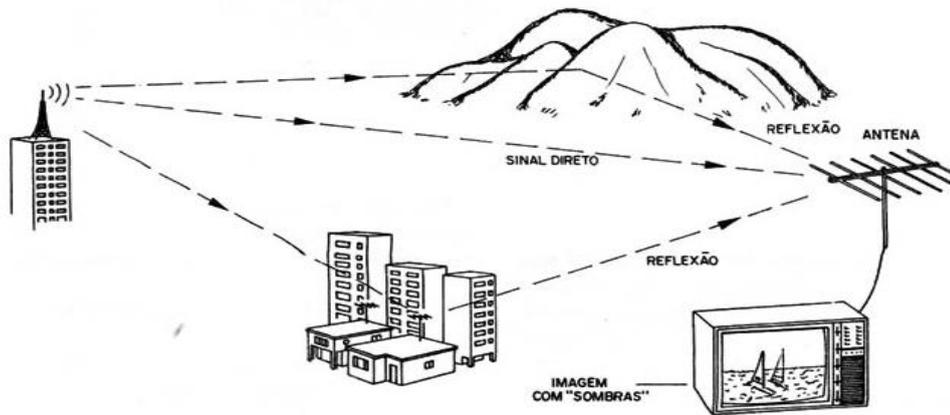
Portanto, quanto mais energia, mais forte e mais intenso é o som. Em contra partida, quanto menos energia, mais fraco e menos intenso é o som.

Entender a altura e intensidade sonora é fundamental para entender o fenômeno de ressonância na taça de vidro. Todos os corpos tem, em sua natureza constituinte, uma frequência própria de vibração. Assim sendo, quando um som tem a mesma frequência da natureza de

vibração própria do corpo ocorre uma superposição das vibrações, ocorrendo assim uma troca de energia. Podendo acontecer da onda sonora fornecer energia para o corpo, aumentando assim a amplitude de vibração do corpo.

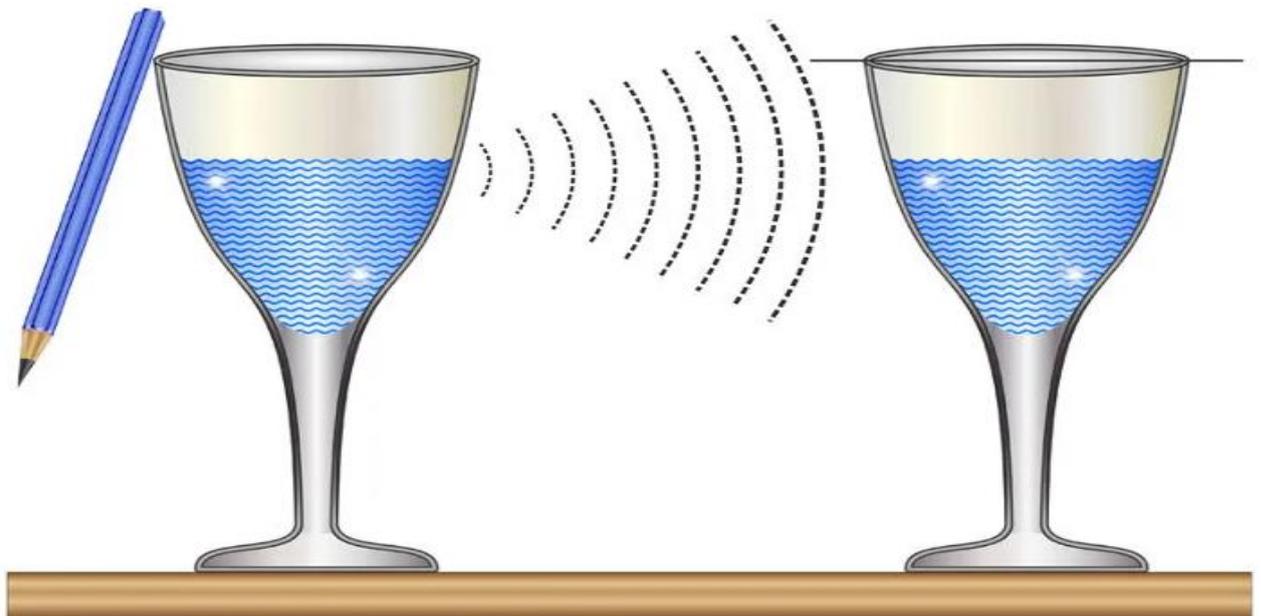
Em nossos dias há diversos exemplos desse fenômeno, como a ressonância na comunicação entre emissoras de TV e Rádio e entre celulares, que só são possíveis pelo fenômeno da ressonância.

Figura 7 - Ressonância na comunicação de rádio e TV



Fonte: ALVES, André Luíz; CUSTÓDIO COURA, Daniel José; PESSOA, Márcio Solino; BENTO, Sérgio Sousa; MOSCON, Paulo Sérgio. (2019)

Figura 8 - Ressonância transmitida entre taças de cristal



Fonte: Rafael Helerbrock (2022)

Procedimento experimental

Objetivo: Verificar a transmissão de energia por ressonância entre taças de cristais próximas uma da outra.

Material: Duas taças de cristal, canudos plásticos ou de papéis leves.

Procedimento: Coloque as duas taças idênticas em cima de uma superfície plana uma próxima da outra. Coloque a mesma quantidade de águas nas duas taças (este experimento também pode ser feito sem colocar água nas taças). Escolha uma das taças e coloque um canudo de plástico leve acima da boca da taça. E com auxílio de um lápis dê leves toques na taça que sem o canudo de plástico.

Experimento 4: Identificando o primeiro harmônico em tubos sonoros

Primeiramente, deve-se mostrar, um cano de PVC ou uma proveta aos alunos e explicar que podem ser tubos sonoros. Muito dos docentes no dia a dia tem contato com os tubos sonoros, por exemplo, uma gaita, uma escaleta, uma flauta, um apito são exemplos de tubos sonoros. Alguns são denominados instrumentos musicais e outros apenas produzem um som qualquer. O apito não chega a ser um instrumento propriamente dito, pode ser utilizado na música sem problema nenhum, porém não é denominado instrumento musical. É evidente que os maiores exemplos sobre tubos sonoros são de instrumentos musicais. No entanto, até mesmo uma garrafinha com um pouquinho de água quando sopramos por cima consegue sustentar um som. Caso seja modificado a quantidade de água dentro da garrafa o som se modifica. E essa ideia é justamente o mesmo princípio utilizado neste quarto experimento.

A partir deste procedimento experimental, temos a oportunidade de determinar a velocidade do som dada uma determinada frequência que será obtido por meio do “Frequency Generator” (Gerador de som de frequência) que pode ser adquirido na loja de qualquer smartfone de forma gratuita pelos alunos durante a aula.

Primeiro foram feitas algumas atividades práticas observacionais simples para familiarizar os alunos com o gerador de frequência que os mesmos já dispunham no celular obtido de forma fácil. Tais atividades iniciais servem para fazê-los perceber aspectos como características que diferenciam frequências altas e baixas em termos audíveis, constatando o que já havíamos exposto de forma teórica.

Em seguida, utilizando canos ou provetas com água para simular os tubos sonoros fechados.

Em relação aos tubos sonoros, nós temos dois tipos de tubos. O primeiro a ser abordado é o tubo aberto, que é um tubo que apresenta as duas extremidades livres, ou seja, é aberto de um lado e aberto de outro lado também. Primeiramente, deve ser mencionado que as ondas que são formadas no interior dos tubos são ondas como as formadas nas cordas de um violão. No entanto, as ondas nas cordas de um violão são ondas transversais, assim as cordas vibram e produzem no ar ondas sonoras longitudinais. Uma flauta doce, é um exemplo de tubo aberto. Não é preciso, por exemplo, se esforçar ou fazer alguma técnica avançada, para se tirar som dela. Ela possui uma palheta no orifício de entrada do ar e assim que o jato de ar entra, passa pela palheta, e a faz vibrar. A vibração da palheta dentro do tubo aberto faz com que a onda percorra toda a extensão do tubo acontecendo os padrões de interferência e ressonância.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA FLAUTA DOCE

Como a flauta doce é um instrumento de sopro, o seu princípio de funcionamento se baseia em produzir uma coluna de ar dentro de um tubo, criando uma onda estacionária que produzirá o som (FENG, J. Q., 2012). Utilizamos as posições dos dedos para controlar o tamanho da coluna de ar dentro do tubo e assim obter as notas musicais ao fazer as posições corretas. Para a produção do som, o ar que entra no bocal (Figura 5) da flauta (onde se coloca a boca) se choca com uma fina lâmina que fica na janela da cabeça da flauta, chamada de lingueta, criando assim um filete de ar que entra no tubo com os orifícios. Este filete de ar já tem o próprio som da flauta, mas não tem afinação, sendo que ele só terá a frequência de uma nota musical ao entrar no tubo. Kleyton D’Martin Costa¹, Samuel Bueno Soltau² (2016, p. 4)

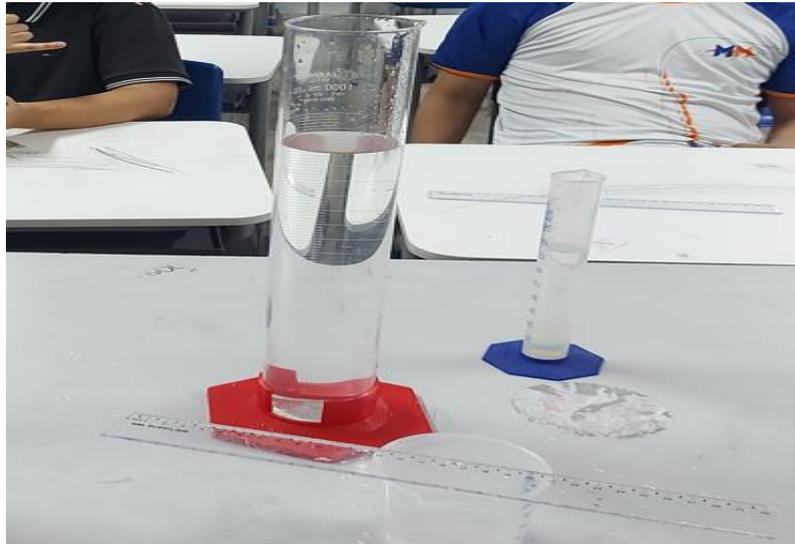
Figura 9 - Mecânica do ar no funcionamento da flauta doce



Kleyton D’Martin Costa¹, Samuel Bueno Soltau² (2016, p. 4)

A mesma coisa acontece também com o apito, com a gaita, com a escaleta e muitos outros instrumentos de sopro.

Figura 10 - Proveta para dimensionar o tamanho L da coluna de ar do harmônico fundamental



Fonte: elaborado pelo autor.

Procedimento experimental

Objetivo: Observar a formação de ondas estacionárias no interior de tubos sonoros fechados e determinação da velocidade do som.

Material: Canos de PVC ou qualquer tubo com um comprimento de meio metro. Um gerador de frequência sonora. (Esse gerador pode ser adquirido na galeria de aplicativos em qualquer smartfone) E um balde com água suficiente para encher todo o cano de PVC.

Procedimento: Coloque acima de uma superfície plana uma proveta graduada ou um cano PVC com uma extremidade vedada para parte de baixo. Completamos com água todo o tubo e aplicamos, com o gerador de frequência, uma frequência qualquer e percebemos a intensidade sonora. A partir daí, faça a água sair pela parte inferior do cano PVC sempre deixando o emissor de frequência ligado na parte superior do tubo. (Caso esteja utilizando a proveta é preciso retirar parte da água e ir adicionando água aos poucos na parte superior da proveta). A partir do momento em que o aluno perceber a máxima alteração do som de forma audível, ele irá parar o fluxo de água do tubo e medir, com auxílio de uma régua, o valor do tamanho “L” do tubo referente a cavidade com ar. Tal medida se referirá ao primeiro harmônico.

Experimento 5: Construindo Tubos musicais

A construção dos tubos sonoros é a aplicação tecnológica e interessante na sequência de construção desses experimentos. Juntar música ao estudo dos tubos sonoros nesse interim nos fornece um embasamento um tanto quanto intuitivo para a sequência do nosso trabalho. Então, no experimento passado, foi pedido aos alunos que trouxessem pedaços de canos cortados de quaisquer tamanhos para a construção de instrumentos musicais.

As variações da velocidade do som com a temperatura devem ser irrelevantes neste experimento, e o valor $V_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ pode ser adotado.

A equação $f = nV/2L$ (3.14) não prevê com exatidão as frequências de ressonância dos tubos sonoros. Como o diâmetro do tubo não é muito menor que seu comprimento, uma correção pode ser feita nestas expressões. As equações (3.15), para o tubo aberto, e (3.16), para o tubo fechado, introduzem o efeito do diâmetro D nas frequências de ressonância:

$$f_n = n \frac{V_{\text{som}}}{2(L + 0,6D)} \quad (3.15)$$

$$f_n = n \frac{V_{\text{som}}}{4(L + 0,3D)} \quad (3.16)$$

Então os alunos começaram a produzir notas específicas a partir do seu diâmetro e comprimento do pedaço de cano específico adquirido facilmente.

Após a construção dos tubos, poderá ser verificado com o uso do captador de frequência de notas musicais prevista de forma teórica.

Figura 11 - Confeção do tubo sonoro musical.



Fonte: elaborado pelo autor.

Procedimento experimental

Objetivo: Mostrar a formação de diferentes sons em tubos de tamanhos diferentes.

Material: Tubos de PVC em diferentes tamanhos com 40 mm de diâmetro. Arco de serra. Lixa para acabamento pós-corte. Lápis e borracha. Trena. Aplicativo de celular para verificar a frequência produzida pelos tubos PVC.

Procedimento: Utilizando a equação 3.15 podemos verificar o tamanho $L = 36,69$ cm correspondente a nota Lá de frequência 440 Hz. (Você pode utilizar o tamanho L para outras frequências desejadas). Marque com o lápis o tamanho L no cano PVC. Com a supervisão do professor ou de um adulto, corte com arco de serra alguns milímetros acima marcação. E com a ajuda da lixa faça um ajuste fino para deixa o tamanho mais próximo da medida L . Uma mesma nota musical pode ser adquirida dobrando o valor da frequência f , e isso significa uma oitava acima. Entre duas notas de uma oitava existem 12 intervalos de notas musicais por conta do sustenido, representado pelo símbolo # (Dó, Dó#, Ré, Ré#, Mi, Fá, Fá#, Sol, Sol#, Lá, Lá#, Si, Dó). As frequências idênticas de uma oitava são adquiridas multiplicando a frequência inicial pela décima segunda raiz de dois. Ou seja, multiplicar a frequência f por $x = 1,0594631$ pois $(1,0594631)^{12} = 2$.

Tabela 4 - Frequências de uma oitava da nota lá.

Nota	Frequência - f Hertz (Hz)	$x = 1,0594631$
Lá	440,00	f
Lá#	466,16	f.x
Si	493,88	f.x ²
Dó	523,25	f.x ³
Dó#	554,37	f.x ⁴
Ré	587,33	f.x ⁵
Ré#	622,25	f.x ⁶
Mi	659,26	f.x ⁷
Fá	698,46	f.x ⁸
Fá#	739,99	f.x ⁹
Sol	783,99	f.x ¹⁰
Sol#	830,61	f.x ¹¹
Lá	880,00	f.x ¹² = 2f

Fonte: Produzido pelo autor

E assim, dessa forma, podemos encontrar o tamanho L correspondente a cada nota sugerida na Tabela 4 da mesma forma que foi possível chegar no tamanho $L = 36,69$ cm correspondente a nota Lá de frequência $f = 440$ Hz.

4 DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

As atividades experimentais realizadas tiveram como foco abordar alguns aspectos fenomenológicos do dia-a-dia ligados ao ensino de ondas sonoras. Aspectos como a natureza da onda sonora, forma de propagação, interferência, ressonância e a produção de sons diferentes. A ideia foi buscar atividades experimentais simples, buscando utilizar materiais que estivessem ao alcance dos discentes, e que fizesse sentido no desenvolvimento dos conceitos ligados ao ensino das ondas sonoras. As cinco atividades devem ser apresentadas de acordo com a necessidade e cronograma de cada docente, tendo em vista os diferentes aspectos relacionados a cada realidade do contexto ensino-aprendizagem. A exemplo, tais experimentos foram realizados com alunos de uma escola particular e de uma escola do estado onde apenas a escola do estado tinha um laboratório de ciências, porém sem uma estrutura e sem equipamentos adequados. Assim, como sugestão, cabe citar novamente que qualquer parte da atividade experimental deve ser adaptada para uma aula sempre após a explicação teórica de cada subtópico. Se possível, demonstrar a experimentação simples na mesma aula teórica sobre o tema referente a cada experimento, caso não ocorra, procurar demonstrar o experimento na primeira oportunidade após o embasamento teórico.

A apresentação deve se dar de forma investigativa e sempre fazendo referência a teoria abordada, sempre aproveitando as oportunidades para enfatizar o objetivo de cada experimento. Procurando estimular os alunos a responder perguntas como:

- Qual o tema do experimento?
- Qual é o fenômeno explorado pela atividade?
- Qual o conceito físico ligado a atividade experimental?
- Qual o objetivo da demonstração?
- Quais outros modos de realizar o experimento poderiam ser utilizados?
- Quais exemplos em nosso dia-a-dia são semelhantes aos exemplos propostos?

Como sugestão os alunos podem acompanhar o experimento utilizando-se de um formulário que deve ser impresso ou copiado no quadro para apreciação do experimento. Como indicação do formulário pode-se utilizar o modelo no formulário APENDICE A – Relatório da Atividade Experimental Simples.

Na sequência, dar-se-á em detalhes, sugestões de cada atividade proposta pela SD, os objetivos, os recursos didáticos e os conteúdos abordados.

Atividade N° 1

Objetivos	- Compreender o conjunto de aulas e atividades para a compreensão do estudo das ondas.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel.
Tempo estimado	- 30 minutos

O professor irá apresentar alguns passos da SD aos alunos. Demonstrará uma breve síntese do cronograma de atividades, análogo ao quadro 1, explicando que haverá as aulas teóricas e aulas com experimentos.

Atividade N° 2

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar fenômenos ondulatórios na natureza e como muitos animais utilizam-se deles para comunicação, localização ou até mesmo para capturar suas presas. - Apresentar a definição do conceito de uma onda. - Classificar e explicar sobre a natureza mecânica e eletromagnética das ondas. - Construir um telefone de fio e copos de acordo com as orientações em Experimento 01. - Interagir e explicar que a propagação do som que é uma onda precisa de um meio para se propagar.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático, dois copos descartáveis ou dois copos de requeijão secos ou ainda pode-se usar latas de metal vazias e limpas (pode ser de milho, ervilha, leite condensado, etc.), dez metros de barbante fino e martelo e um prego para fazer o furo no copo ou lata.
Tempo estimado	- 1h10 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre o conceito de onda e classificação de uma onda com respeito a sua natureza. O professor define os principais pontos teóricos que caracterizam uma onda e define particularidades sobre o que diferenciam as ondas eletromagnéticas das ondas mecânicas. Antes de começar a construção do experimento, resolver junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre o conceito ou classificação das ondas. Em seguida, usando as orientações em

Experimento 01, construir o telefone de copos com os alunos. Incentive a manipulação do experimento por parte dos alunos instigando os mesmos a expor seus argumentos que liguem o experimento a parte teórica abordada. Ficando como sugestão usar o relatório de atividade experimental no apêndice A.

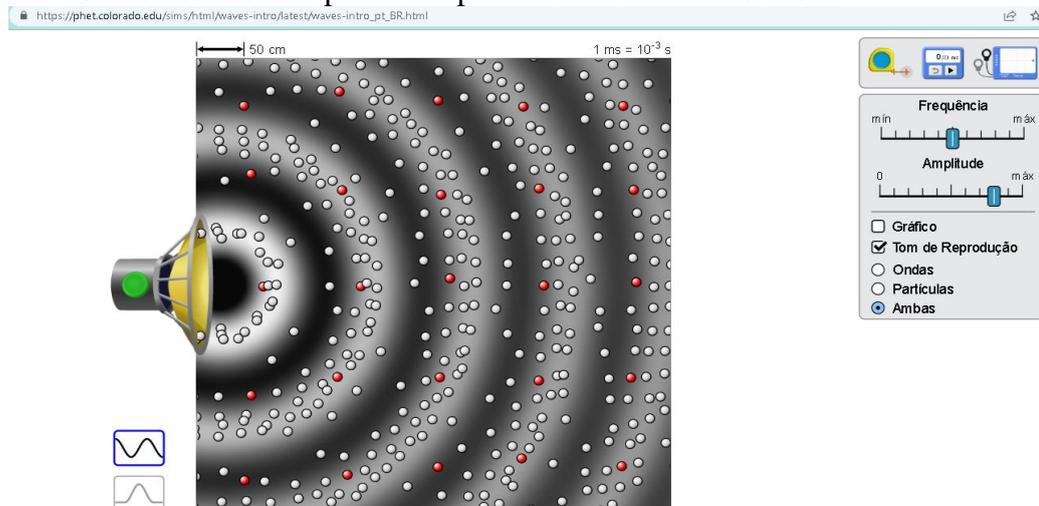
Atividade N° 3

Na Atividade N° 3, propõe-se a apresentação das formas de propagação de uma onda.

Objetivos	- Apresentar os conceitos de ondas transversais e longitudinais. (Uso do PhET) - Exemplificar exemplos na natureza destes dois tipos de ondas. - Utilizar o Experimento 02 para uma melhor demonstração e diferenciação dos dois tipos de onda.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático, mola Slinky e <i>datashow</i> .
Tempo estimado	- 50 minutos

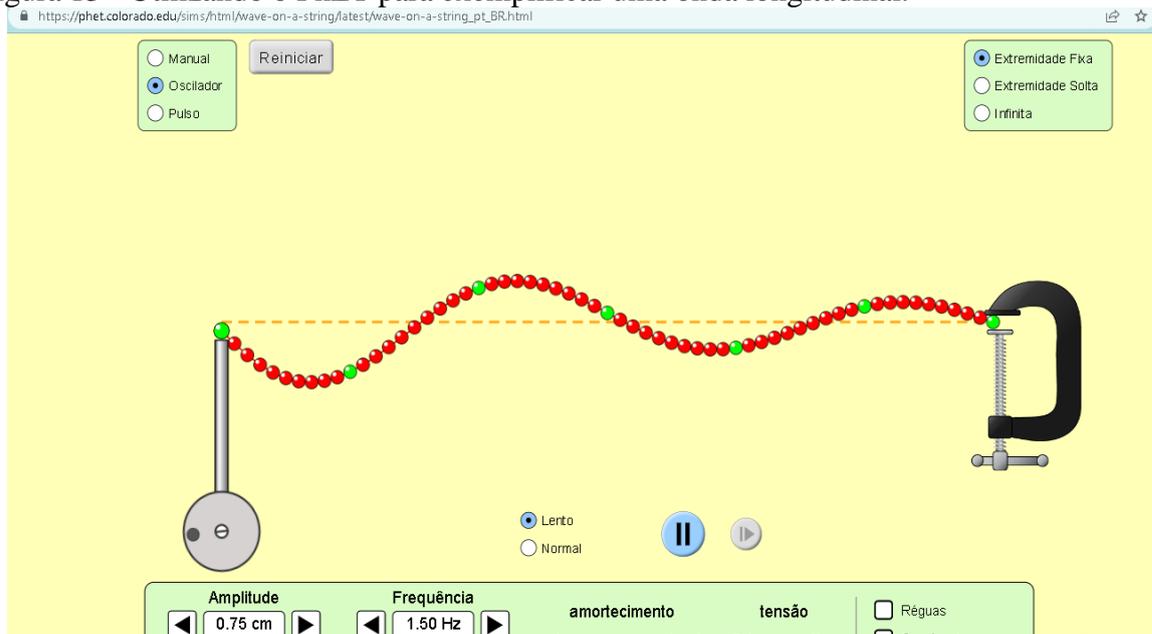
Aqui podemos utilizar as simulações interativas da plataforma PhET para demonstração dos dois tipos de ondas. Para isso é interessante que se realize essa atividade na sala de informática, ou em uma apresentação com *Datashow*. O simulador *online* servirá como ferramenta de sistematização do conteúdo, nele os alunos conseguirão diferenciar uma onda longitudinal de uma transversal conforme na Figura 18 e na Figura 19. Em seguida, apresentar a mola Slinky de acordo com as recomendações em Experimento 2.

Figura 12 - Utilizando o PhET para exemplificar uma onda transversal.



Fonte: Elaborado pelo autor / Via PhET

Figura 13 - Utilizando o PhET para exemplificar uma onda longitudinal.



Fonte: Elaborado pelo autor / Via PhET

Os comandos e desenhos do simulador são bastante intuitivos, e com ele, é possível verificar a diferença entre os dois tipos de ondas. Como sugestão para atividade extra classe é interessante propor aos alunos que manipulem em casa o simulador de ondas PhET. Essa atividade pode ser inclusive, compartilhada em grupos de mensagens ou plataforma da turma (*Whatsapp, Classroom, etc...*), favorecendo a discussão dos conhecimentos adquiridos e compartilhamentos sobre a manipulação do simulador. Ficando como sugestão usar o relatório de atividade experimental no apêndice A.

Atividade N° 4

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar as características das ondas. - Definir o comprimento de onda. - Mostrar como medir matematicamente o período e a frequência de oscilação de uma onda. - Deduzir a equação fundamental da ondulatória.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático.
Tempo estimado	- 1 h 40 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre elementos matemáticos fundamentais para caracterizar uma onda. O professor irá apresentar os pontos importantes da onda (como crista, vale, nó, frente de onda) para definir comprimento de onda, período e frequência. E assim poder ter meios para deduzir a equação fundamental da ondulatória. E ao final realizar junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre a aula.

Atividade N° 5

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar os fenômenos ondulatórios - Usar o Experimento 2: Mola Slinky para verificar o fenômeno da reflexão. - Apresentar os fenômenos de refração, interferência, difração e polarização em uma onda. - Usar o Experimento 3: Ressonância em uma taça de cristal na abordagem do fenômeno de ressonância.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático, taças de cristal, canudos leves de plástico ou de papel.
Tempo estimado	- 1 h 40 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre os fenômenos ondulatórios (Reflexão, refração, interferência, difração, ressonância e polarização). O professor define os principais pontos teóricos que caracterizam cada fenômeno e define particularidades que diferenciam cada fenômeno. Usaremos a mola Slinky, Experimento 2, para que todos possam verificar e entender o fenômeno de reflexão de uma onda. A seguir, usaremos o Experimento 3: Ressonância em

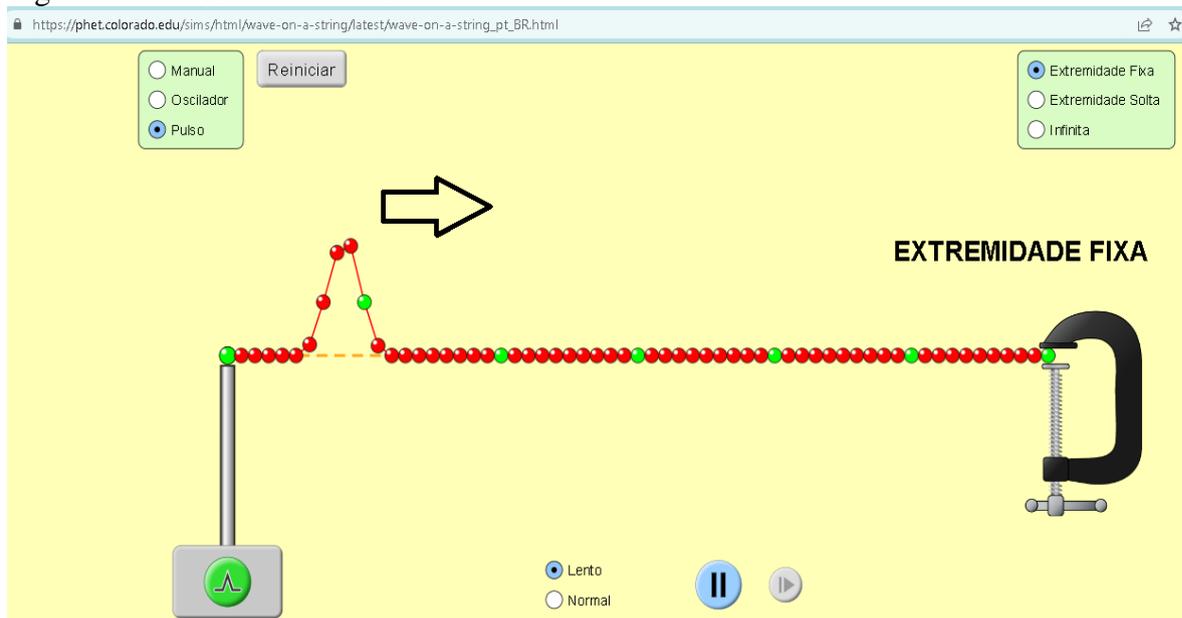
uma taça de cristal para abordar o fenômeno de ressonância. Sempre Incentivando a manipulação do experimento por parte dos alunos e instigando os mesmos a expor seus argumentos que liguem o experimento a parte teórica abordada. Antes de começar a construção do experimento, resolver junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre os fenômenos ondulatórios. Ficando como sugestão a utilização do relatório de atividade experimental no apêndice A.

Atividade N° 6

Objetivos	- Definir ondas sonoras. - Apresentar as qualidades fisiológicas do som. - Explicar os fenômenos das ondas estacionárias. (Uso do PhET)
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, livro didático e <i>datashow</i> .
Tempo estimado	- 50 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva dando uma introdução a acústica. Começando por definir o conceito de ondas sonoras. Apresentar as qualidades fisiológicas do som. (Altura, timbre e a intensidade sonora). Abordar de forma cuidadosa os conceitos de ondas estacionárias. Nesse ponto pode-se mais uma vez fazer uso da plataforma de interações PhET para mostrar aos alunos que as onda estacionárias são resultados dos fenômenos de reflexão e de interferência das ondas. Para isso é interessante que se realize essa atividade na sala de informática, ou em uma apresentação com *Datashow*. O simulador *online* servirá como ferramenta de sistematização do conteúdo, nele os alunos conseguirão visualizar a reflexão das ondas em uma corda com extremidade fixa e depois interferência entre os pulsos como alguns exemplos de reflexão com inversão de pulso na Figura 20 e na Figura 21.

Figura 14 - Pulso em corda com extremidade fixa.



Fonte: Elaborado pelo autor / Via PhET.

Figura 15 - Inversão de fase da onda por reflexão em extremidade fixa.



Fonte: Elaborado pelo autor / Via PhET.

Assim, com a extremidade fixa, gerar dois a mais pulsos para os alunos verificarem que as ondas irão refletir e interferir criando padrões de ressonância. E ao final realizar junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre a aula.

Atividade N° 7

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Abordar o conceito de tubos sonoros. - Abordar a parte teórica dos tubos sonoros fechados. - Usar o Experimento 4: Identificando o primeiro harmônico em tubos sonoros para um melhor entendimento sobre o harmônico fundamental.
Materiais e Recursos	- Quadro Branco, pincel, canos de PVC ou qualquer tubo com um comprimento de meio metro. Um gerador de frequência sonora. (Esse gerador pode ser adquirido na galeria de aplicativos de um smartfone qualquer) E um balde com água suficiente para encher todo o cano de PVC.
Tempo estimado	- 50 minutos

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre o comportamento das ondas sonoras em tubos fechados. O professor deve frisar características e as equações que definem um tubo sonoro fechado. E assim, usar o Experimento 4, para identificação da ressonância e encontrar o harmônico fundamental. Como sugestão para essa prática, pode-se usar a equação de onda para tubos fechados para calcular com uma boa aproximação a velocidade do som. Sempre Incentivando a manipulação do experimento por parte dos alunos e instigando os mesmos a expor seus argumentos que liguem o experimento a parte teórica abordada. Antes de começar a construção do experimento, resolver junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre os fenômenos ondulatórios. Ficando como sugestão a utilização do relatório de atividade experimental no apêndice A.

Atividade N° 8

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Abordar a parte teórica dos tubos sonoros abertos. - Usar o Experimento 5: Construindo Tubos musicais para verificar a produção de frequências diferentes para tubos de tamanhos diferentes.
Materiais e Recursos	- Tubos de PVC em diferentes tamanhos com 40 mm de diâmetro. Arco de serra. Lixa para acabamento pós-corte. Lápis e borracha. Trena. Aplicativo de celular para verificar a frequência produzida pelos tubos PVC.

Tempo estimado	- 1 h 40 minutos
----------------	------------------

Nesta etapa, realiza-se uma aula expositiva sobre o comportamento das ondas sonoras em tubos abertos. O professor deve frisar características e as equações que definem um tubo sonoro aberto. E assim, usar o Experimento 5, para verificar a formação de frequências diferentes. Sempre Incentivando a manipulação do experimento por parte dos alunos e instigando os mesmos a expor seus argumentos que liguem o experimento a parte teórica abordada. Antes de começar a construção do experimento, resolver junto com os alunos atividades do livro (ou material de apoio) que envolva situações-problemas sobre os fenômenos ondulatórios. Ficando como sugestão a utilização do relatório de atividade experimental no apêndice A.

REFERÊNCIAS

EXPLICATORIUM. **Característica das ondas**. Explicatorium 2008 – 20. Disponível em: <http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html> Acesso: 25 maio 2022

HAMBURGER, E. W. **Laboratório de Demonstrações 2022** Disponível em: <https://labdemo.if.usp.br/mola-helicoidal/> Acesso em: 27 jun 2022.

NUSSENZVEIG, H. M. **Física básica 2: fluidos oscilações e ondas calor**. 4. ed. rev. São Paulo: Edgard blucher ltd., 2002. 314 p. v. 2.

PhET. **Physics Education Technology**. Disponível em: <http://phet.colorado.edu/>. Acesso em: 20 jun. 2022

APENDICE A – RELATÓRIO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL SIMPLES

Aluno:	Série:
Disciplina:	Data:
Professor:	
Experimento:	
Anotações sobre as observações feitas durante a realização do experimento	
Materiais utilizados	
Objetivo do experimento	
Procedimentos sobre como realizar o experimento	
Questões, dúvidas e curiosidades que surgiram durante a aula prática	
Resultados e Conclusões	

**APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO AVALIATIVO DO EXPERIMENTO REALIZADO
A SER PREENCHIDO PELOS ALUNOS**

Marque com um X no que você considera ser sua opinião.			
N	QUESTÕES AVALIATIVAS	SIM	Não
1	Você considera a atividade experimental realizada em sala de aula importante?		
2	Você considera a atividade experimental realizada em sala de aula interessante?		
2	Ao realizar a atividade experimental em sala de aula considerei uma perda de tempo.		
3	De maneira geral, eu gosto de participar das atividades realizadas em sala de aula		
4	Os experimentos ajudam-me a esclarecer os conteúdos teóricos.		
5	Gosto de trabalhar com manipulação de materiais e elementos, mesmo que seja em sala de aula		
6	A atividade experimental em sala de aula pouco acrescentou ao meu conhecimento.		
7	Com a atividade experimental desenvolvi o senso crítico.		
8	Participei da atividade apenas porque fui obrigado.		
9	Considero muito bom realizar atividades experimentais		
10	Executei a atividade sem prestar muita atenção.		
11	Entendo os fenômenos físicos que ocorreram na atividade experimental		
12	A atividade experimental deixou-me impaciente.		