



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE BLUMENAU
PROGRAMA DE MESTRADO POFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Valmir de Liz

Física do Som: Uma sequência didática através dos 3 momentos pedagógicos.

Blumenau/SC

2023



FÍSICA DO SOM: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA ATRAVÉS DOS 3 MOMENTOS
PEDAGÓGICOS.

Valmir de Liz

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Lucas Natalio Chavero

Blumenau/SC

2023

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

de Liz, Valmir

Física do Som: Uma sequência didática através dos 3
momentos pedagógicos. / Valmir de Liz ; orientador, Lucas
Natálio Chavero, 2023.

171 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Física. 3. Ensino de Física. 4.
Ondas. 5. Som. I. Natálio Chavero, Lucas. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Mestrado Nacional Profissional
em Ensino de Física. III. Título.

Valmir de Liz

Física do Som: Uma sequência didática através dos 3 momentos pedagógicos.

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Dr. Lucas Natalio Chavero, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Esley Scatena Gonçales, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Silvio Luiz Rutz da Silva, Dr.(a)
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG / Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física – MNPEF – Polo 35

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof.(a) Dr. Lucas Natalio Chavero, Dr.(a)
Orientador

Blumenau, 2023.

Este trabalho é dedicado à minha esposa Luana, meus pais Pedro e Nilza (*in memoriam*), aos meus irmãos, Vanderlei (*in memoriam*), Valdionei, Valdionir e Valcionei e a pessoa responsável por eu ter me tornado professor, professora Valda.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por sempre me guiar e me dar forças para superar todos os obstáculos.

Agradeço também a minha esposa Luana Martins de Medeiros, por sua compreensão, amor e apoio incansável durante todo o processo de pesquisa e escrita desta dissertação. Sem sua presença, este trabalho teria sido muito mais difícil.

Em seguida, agradeço aos meus pais e meus irmãos pelo amor incondicional e apoio constante durante toda a minha vida.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Lucas Natálio Chavero, pela paciência, dedicação e sabedoria compartilhada durante este período de pesquisa. Sem sua orientação, esta dissertação não seria possível.

Agradeço ainda à Universidade Federal de Santa Catarina por proporcionar a oportunidade de aprimorar minha carreira docente por meio deste programa de mestrado. Além disso, gostaria de expressar minha gratidão à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pelo valioso suporte e financiamento concedidos a este programa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço aos professores do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – UFSC – Blumenau, por me proporcionar as condições ideais para a realização deste trabalho. Em especial queria agradecer ao professor Daniel Girardi por tirar todas as dúvidas que tive sobre o Overleaf, seus vídeos explicativos, me salvaram um bom tempo.

Um agradecimento especial também a diretora da Escola de Educação Básica Agar Alves Nunes, Yara Andrea do Nascimento, a qual permitiu e deu todo o suporte na Escola, para a aplicação do produto educacional.

Também não poderia deixar de agradecer a todos os meus professores do ensino médio, os quais muito me incentivaram no início da minha jornada, dos quais em nome de todos os demais gostaria de citar as professoras: Ana Cláudia Schlemper Soares qual me guiou e levou para fazer o meu primeiro vestibular, a professora Vania Luiza Faria Luz que foi a responsável pela arrecadação da ajuda financeira com os demais professores, para que eu conseguisse me inscrever e realizar o meu primeiro vestibular. Por fim gostaria de agradecer a professora Valda Maria Kreisch pessoa essa que eu considero como um anjo em minha vida, sem a sua ajuda com certeza minha realidade hoje seria outra, sem dúvidas a senhora conseguiu fazer a diferença em minha vida. Muito Obrigado!

A vida sem a música é simplesmente um erro, uma tarefa cansativa, um exílio.

Friedrich Nietzsche

Resumo

O presente trabalho aborda o resultado da concepção, construção e aplicação de uma sequência didática para o ensino de ondas sonoras para turmas do 2º ano do Ensino Médio, a partir da perspectiva metodológica dos 3 Momentos Pedagógicos, de modo a promover uma aprendizagem mais prazerosa aos alunos. O trabalho busca mostrar como elementos de música podem ser utilizados como uma ferramenta valiosa no ensino de conceitos físicos associados a fenômenos ondulatórios, além de apresentar recursos alternativos para tornar a aprendizagem mais acessível e interessante aos alunos. Os objetivos específicos incluem a utilização de situações contextualizadas, instrumentos musicais convencionais, simuladores virtuais, aplicativos de telefones celulares e um instrumento arcaico para a realização de medidas, obtenção e análise de dados e discussão dos resultados obtidos. Além das estratégias mencionadas, ao final da aplicação da sequência, também foi realizada uma avaliação final escrita, a fim de que fosse possível identificar possíveis indícios de sua aprendizagem, além da consolidação e integração desta de forma mais significativa, bem como domínio de determinados conceitos específicos, ou ainda indicativos de fragilidades para serem corrigidas posteriormente. A sequência foi aplicada num total de 5 encontros, destes 3 encontros foram de 90 minutos e os outros 2 foram de 45 minutos, no período de 25 de outubro de 2021 e 6 de dezembro do mesmo ano. Devido ao período de pandemia do COVID-19, apesar do MNPEF ter flexibilizado as formas de aplicação, a sequência só pode ser aplicada no final do ano de 2021, devido à toda a dificuldade imposta pela situação sanitária em que o país e o mundo se encontravam. Como a participação dos alunos era fundamental para a aplicação da sequência, o autor optou por aguardar até poder contar com um número mínimo de alunos, para a aplicação da sequência. No momento da aplicação foram respeitadas todas as orientações sanitárias vigentes, como o uso de máscara e álcool em gel para a manipulação dos instrumentos. As simulações computacionais em geral mostraram-se capazes de apresentar conceitos abstratos de forma mais acessível e interativa, permitindo uma melhor compreensão dos fenômenos físicos. Os instrumentos musicais, por sua vez, possibilitaram a demonstração prática de conceitos como frequência e amplitude de maneira satisfatória, além de despertar o interesse dos alunos para fenômenos físicos presentes na música e em instrumentos musicais. O experimento com o instrumento arcaico proporcionou uma experiência mais concreta e envolvente que, aliado à aula expositiva, permitiu aos alunos momentos de maior interação. Além disso, essa atividade permitiu uma verificação prática uma experiência investigativa, onde os alunos puderam analisar de uma maneira sistemática as relações existentes entre algumas grandezas físicas, como frequência/comprimento da corda e frequência/tensão na corda, consolidando assim seu entendimento teórico sobre esses conceitos. Logo a sequência didática proporcionou uma abordagem estruturada, com um aprofundamento gradual nos conceitos estudados, através dos 3 momentos pedagógicos. A sequência iniciou-se com uma problematização

inicial, partindo do conhecimento inicial dos alunos sobre o que era o som, logo após foi-se progredindo para o estudo dos demais conceitos, a partir de aulas com o uso de simuladores, instrumentos musicais, e experimento prático com um instrumento arcaico. O uso dos simuladores, instrumentos musicais serviram como motivadores para que os alunos conseguissem assimilar os conceitos estudados, já o experimento com o instrumento arcaico permitiu uma interação dos alunos com o conceito estudado, permitindo-lhes testar as suas hipóteses. Por conta do planejamento, a sequência permitiu que fossem feitas pequenas avaliações fossem feitas ao longo do processo de aprendizado, além de uma avaliação final para “medir” a compreensão dos conceitos pelos alunos.

Palavras-chave: Ensino de Física. Ondas. Som. Instrumentos Musicais. Música.

Abstract

The present work addresses the results of the conception, construction, and application of a didactic sequence for teaching sound waves to 2nd-year High School classes, based on the methodological perspective of the 3 Pedagogical Moments, aiming to promote a more enjoyable learning experience for students. The study aims to demonstrate how elements of music can be used as a valuable tool in teaching physical concepts associated with wave phenomena, as well as presenting alternative resources to make learning more accessible and interesting to students. Specific objectives include the use of contextualized situations, conventional musical instruments, virtual simulators, mobile phone applications, and an archaic instrument for measurements, data acquisition, analysis, and discussion of results. In addition to the mentioned strategies, at the end of the sequence application, a final written evaluation was conducted to identify possible signs of learning, consolidation, and integration in a more meaningful way, as well as mastery of specific concepts or indications of weaknesses to be addressed later. The sequence was implemented over a total of 5 sessions, with 3 sessions lasting 90 minutes and the remaining 2 lasting 45 minutes, between October 25, 2021, and December 6 of the same year. Due to the COVID-19 pandemic, despite MNPEF (National Master's Program in Physics Education) having flexible application methods, the sequence could only be implemented at the end of 2021, given the challenges imposed by the sanitary situation in the country and worldwide. As student participation was crucial for the sequence application, the author chose to wait until a minimum number of students could be present. During the application, all current health guidelines were followed, including the use of masks and hand sanitizer for instrument handling. Computational simulations, in general, proved capable of presenting abstract concepts in a more accessible and interactive manner, enabling a better understanding of physical phenomena. Musical instruments, in turn, allowed the practical demonstration of concepts such as frequency and amplitude satisfactorily, sparking students' interest in physical phenomena present in music and musical instruments. The experiment with the archaic instrument provided a more concrete and engaging experience, allowing students moments of greater interaction, coupled with the explanatory class. Moreover, this activity allowed a practical verification of an investigative experience, where students could systematically analyze the relationships between some physical quantities, such as frequency/length of the string and frequency/tension in the string, consolidating their theoretical understanding of these concepts. In conclusion, the didactic sequence provided a structured approach with a gradual deepening of the studied concepts through the 3 pedagogical moments. The sequence began with an initial problematization, starting from students' initial knowledge about what sound was. It then progressed to the study of other concepts through classes using simulators, musical instruments, and practical experiments with an archaic instrument. The use of simulators and musical instruments served as

motivators for students to assimilate the studied concepts, while the experiment with the archaic instrument allowed students to interact with the studied concept, enabling them to test their hypotheses. Thanks to the planning, the sequence allowed for ongoing assessments throughout the learning process, in addition to a final evaluation to "measure" students' understanding of the concepts.

Keywords: Physics Education. Waves. Sound. Musical Instruments. Music.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Pulso de uma onda transversal se propagando em uma corda.	28
Figura 2 – Exemplos de ondas longitudinais.	29
Figura 3 – Onda mista na superfície de um líquido.	29
Figura 4 – Rolha na crista da onda.	29
Figura 5 – Rolha no vale da onda.	30
Figura 6 – Correspondência entre a crista e o vale, com as zonas de compressão e rarefação em uma onda longitudinal.	30
Figura 7 – Funcionamento de um alto falante e a criação da onda sonora.	31
Figura 8 – Onda periódica produzida por um MHS.	32
Figura 9 – Propriedades de uma onda transversal que se propaga em uma corda.	33
Figura 10 – Comprimento de uma onda longitudinal: distância entre duas compressões	34
Figura 11 – Pulso de onda refletido.	35
Figura 12 – Harmônicos em uma corda com suas extremidades fixas.	36
Figura 13 – Harmônicos em uma corda com suas extremidades fixas e seus modos normais.	37
Figura 14 – Corda tracionada	38
Figura 15 – Corda após o início do seu deslocamento, no sentido vertical.	38
Figura 16 – As partes do corpo de um violão.	41
Figura 17 – Representação das oitavas da nota dó, em um piano.	43
Figura 18 – Representação de uma onda sonora que se propaga pelo ar.	44
Figura 19 – Variação de deslocamentos das frentes direita e esquerda do fluido em um tubo.	46
Figura 20 – Intensidade sonora e a saúde auditiva.	49
Figura 21 – Espectro de um ruído comparado ao de uma nota musical.	50
Figura 22 – Instrumentos com suas formas de ondas características	50
Figura 23 – Instrumento arcaico que será utilizados pelos alunos	61
Figura 24 – Infográfico:Classificação dos instrumentos musicais.	66
Figura 25 – Vista superior da simulação mostrando um pulso de uma onda transversal	68
Figura 26 – Vista lateral da simulação mostrando a crista e o vale da onda.	69
Figura 27 – Vista superior da simulação mostrando a crista e o vale da onda.	69
Figura 28 – Vista superior da simulação mostrando a crista e o vale da onda com a função both.	70
Figura 29 – Amplitude da onda na simulação de uma onda que se propaga na água.	71
Figura 30 – Amplitudes da onda na simulação de uma onda sonora que se propaga no ar.	71
Figura 31 – Medida do comprimento da onda sonora na simulação	72

Figura 32 – Medida do comprimento da onda que se propaga na superfície da água, na simulação	72
Figura 33 – Campo auditivo de alguns animais.	74
Figura 34 – Níveis de intensidade sonora e suas causas fisiológicas.	75
Figura 35 – Ondas estacionárias em um barbante	77
Figura 36 – Harmônicos em uma corda com suas extremidades fixas e seus modos normais.	78
Figura 37 – Ondas estacionárias em um violão	79
Figura 38 – Exemplo de medidas da frequência em função da força de tensão usando o instrumento arcaico.	80
Figura 39 – Exemplo de medidas da frequência em função do comprimento da corda usando o instrumento arcaico.	81
Figura 40 – Exemplo de como realizar a medida usando a Tensão na corda.	81
Figura 41 – Exemplo de como realizar a medida usando alterando o comprimento na corda.	82
Figura 42 – Grupo A realizando o experimento	82
Figura 43 – Grupo B realizando o experimento	83
Figura 44 – Grupo C realizando o experimento	83
Figura 45 – Medidas do grupo A	84
Figura 46 – Medidas do grupo B	84
Figura 47 – Medidas do grupo C	84
Figura 48 – Instrumentos com suas ondas características de cada timbre.	87
Figura 49 – Captura da simulação Fourier Making Waves.	87

Lista de tabelas

Tabela 1 – Estruturação da sequência didática	55
Tabela 2 – Estruturação da sequência didática	56
Tabela 3 – Estruturação da sequência didática	57
Tabela 4 – Estruturação da sequência didática	58
Tabela 5 – Divisão da aplicação da sequência didática	65

Lista de abreviaturas e siglas

3 MPs: 3 Momentos Pedagógicos

SBF: Sociedade Brasileira de Física

MNPEF: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

MHS: Movimento Harmônico Simples

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3	A FÍSICA DO SOM	27
3.1	Ondas	27
3.1.1	Ondas Mecânicas	27
3.1.2	O Som	30
3.1.3	Ondas Mecânicas Periódicas	32
3.1.3.1	Características de uma onda periódica	32
3.1.4	Ondas estacionárias	35
3.1.5	Som e ressonância	40
3.1.6	Contrapontos: Música x Física	42
3.1.6.1	Altura	42
3.1.6.1.1	Intensidade	44
3.1.6.1.2	Timbre	50
4	CONCEPÇÃO E ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL E METODOLOGIA DE ENSINO	52
4.1	Os 3 momentos pedagógicos	52
4.2	Concepção e estrutura	53
4.3	Encontro 1/ Aula 1 (Período estimado: 90 minutos)	58
4.4	Encontro 2/ Aula 2 (Período estimado: 45 minutos)	60
4.5	Encontro 3/ Aula 2 (Período estimado: 45 minutos)	60
4.6	Encontro 4/ Aula 3 (Período estimado: 90 minutos)	60
4.7	Encontro 5/ Aula 4 (Período estimado: 90 minutos)	62
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	64
5.1	Encontro 1- 1º Momento - Problematização Inicial/ Organização do conhecimento.	65
5.2	Encontro 2- 2º Momento - Organização do conhecimento.	73
5.3	Encontro 3- 2º Momento - Organização do conhecimento.	75
5.4	Encontro 4- 2º e 3º Momento: Organização do conhecimento/ Aplicação do conhecimento	77
5.5	Encontro 5- 2º e 3º Momento: Organização do conhecimento/ Aplicação do conhecimento	85

6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	89
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
	REFERÊNCIAS	98
	APÊNDICE A- RESPOSTAS DA AVALIAÇÃO	101
	APÊNDICE B- PRODUTO EDUCACIONAL	115

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa em Ensino de Física apresenta uma vasta literatura que busca identificar os principais problemas de aprendizagem e metodologias empregadas. Segundo Araújo e Abib (2003), muitos desses trabalhos buscam encontrar soluções direcionadas a uma educação voltada à participação plena dos indivíduos, para que os mesmos possam estar capacitados e fundamentados para entender a realidade que os cerca, bem como os avanços científicos e tecnológicos que ocorrem no mundo.

A Proposta Curricular Nacional(PCN+), com suas orientações complementares (BRASIL, 2002), indica que quando trabalhado de maneira isolada e não contextualizada, o conjunto de competências específicas acaba não tendo significado real, ou seja, quando trabalhado de maneira a repetir algoritmos matemáticos através de fórmulas decoradas, a real assimilação dos conceitos para a aplicação no mundo real se torna difícil.

Moreira (2018) relata que isso foi evidenciado já na década de 50, onde Richard P. Feynman em suas conferências sobre o ensino de Física no Brasil, conforme relatado na coluna Ciência em Marcha, no Jornal do Brasil de 25 de maio de 1952 por Frota-Pessoa, explica que “ensinar ciência é, portanto, pôr os alunos em contato com os fenômenos naturais. O ensino usual, restringidas a definições e fórmulas mortas memorizadas ou mesmo entendidas, não chega a ser ensino de ciência”.

Nessas palestras Feynman criticava como o ensino de Física no Brasil era algo focado estritamente em decorar fórmulas e realizar cálculos, pois como o mesmo relata, era surpreendente como os alunos de graduação brasileiros tinham a definição na ponta da língua, mas em contrapartida eram incapazes de analisar uma situação real usando da mesma definição.

Além dos problemas identificados já na década de 50 por Feynman, Moreira (2017) destaca que atualmente ainda existem problemas de metodologia de ensino adotada pelos docentes focada pura e irrestritamente na aprendizagem mecânica. Ademais, existe ainda a falta de preparo desses profissionais, más condições de trabalho, carga horária cada vez mais reduzida e um ensino desatualizado no que tange conteúdo e tecnologia. No que tange a aprendizagem, a partir da análise dos resultados de um dos indicadores de abrangência global como o PISA de 2018 (SCHLEICHER, 2018), é possível observar que o Brasil ocupa uma das posições mais baixas quando comparado a outros países latino americanos ou ainda países com um PIB menor.

Diante desse contexto, Araújo e Abib (2003) indicam que as atividades experimentais vêm sendo apontadas por docentes e discentes como uma ferramenta de sucesso para o processo de ensino e aprendizagem de maneira significativa. Além disso, elas

possibilitam mostrar aos alunos as aplicações práticas do conhecimento estudado, saindo do campo puramente abstrato do ensino tradicional. Contudo, no que tange à estrutura, o uso de laboratórios de ciências no Brasil é algo raro, em parte devido ao alto custo de manutenção e funcionamento, tornando as atividades práticas de Física nesses ambientes algo inalcançável para a maioria das escolas públicas brasileiras (PIRES , 2006).

É dentro desse contexto que surge o presente trabalho. Nele se apresentam algumas estratégias que buscam tornar o processo de ensino e aprendizagem mais atrativo e eficiente, representando uma ferramenta alternativa na tentativa de superar alguns dos problemas apresentados anteriormente, a partir de estratégias e recursos diferentes daqueles utilizados no ensino tradicional.

Ademais, é importante mencionar que diferentes metodologias podem ser mais ou menos eficientes dependendo da natureza dos conceitos que serão abordados, de seu nível de complexidade, de aspectos fenomenológicos e possibilidade de experimentação, do grau de abstração necessário, além de sua ocorrência em acontecimentos cotidianos dos alunos e possibilidade de contextualização. Diante disso, a escolha do conteúdo de Física a ser abordado e o plano de fundo para sua discussão, especificamente fenômenos ondulatórios a partir de um contexto envolvendo som, música e instrumentos musicais, envolvem duas esferas distintas. Uma de caráter pessoal e associada à experiência e interesse do autor no assunto e outra devido à importância desses fenômenos na Física e em diversas áreas da tecnologia e ciência moderna, além do apelo cultural e motivacional presentes num contexto envolvendo elementos de música. Sob a perspectiva pessoal, a escolha do tema parte inicialmente do meu interesse e paixão pela música. Apesar de não ter nenhum músico na minha família, a música sempre esteve presente em minha casa, fosse através dos discos de vinis e fitas k7 ou pelo rádio, que ficava muitas horas ligadas. Com 12 anos de idade comecei a participar da fanfarra da escola, o que aumentou ainda mais meu interesse pela música. Com 20 anos comecei minha trajetória como professor de fanfarra nas escolas, onde trabalhava como professor de Matemática, e desde lá nunca mais parei. Em 2019 me efetivei na escola na qual trabalho hoje e onde apliquei o presente produto educacional. Ainda no ano de 2019, conseguimos com a ajuda da APP (Associação de Pais e Professores) comprar os instrumentos para formar a fanfarra da escola. Nesse processo de formação, foi possível perceber o interesse dos alunos em querer participar da fanfarra, mostrando-se um solo fértil para a aplicação de algum projeto que envolvesse elementos Música e Física.

Particularmente em relação ao conteúdo de fenômenos ondulatórios na disciplina de Física, este em geral costuma ser deixado para o final do ano no planejamento dos professores do Ensino Básico, o que muitas vezes pode comprometer sua abordagem de forma mais adequada e completa devido a falta de tempo. Aliado a isso, o tema de acústica é um dos tópicos mais recorrentes nas provas do Exame Nacional do Ensino

Médio (ENEM), ilustrando assim uma importância de natureza mais prática, manifesta em avaliações de desempenho.

O som por sua vez está presente na vida humana desde a gestação de uma criança, sendo utilizado na comunicação das pessoas e animais em geral, exercendo um papel importante no equilíbrio humano, influenciando o comportamento individual e coletivo em sociedade, além de afetar nossa saúde e produtividade.

Já a música pode ser analisada historicamente como a identidade cultural de um povo, de uma classe ou de uma ideia. Está presente desde o início da humanidade e deve permanecer até o fim da mesma. Passa por mudanças ao longo dos anos, se moldando às realidades de cada tempo, mas se fazendo presente em todos os meios e em todas as classes, dos mais ricos aos mais pobres.

Nesse contexto, a música pode ser uma ferramenta valiosa para o ensino de ondas, introduzindo elementos mais atrativos e lúdicos para a aprendizagem, que permitem ao aluno compreender conceitos teóricos de maneira mais concreta e significativa. Ela surge como ponto de partida de uma abordagem interdisciplinar para a compreensão dos fenômenos ondulatórios, relacionando-se com definições físicas como frequência, comprimento de onda, amplitude, intensidade e timbre, por exemplo.

Aliado a um contexto de música e instrumentos musicais, um conjunto de estratégias com problematizações e atividades práticas podem compor uma alternativa metodológica às abordagens tradicionais de ensino, proporcionando assim ao professor e ao aluno uma complementação mútua entre os enfoques teórico e prático.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é a construção de uma sequência didática para o ensino de ondas sonoras para turmas do 2º ano do Ensino Médio com a utilização de problematizações, instrumentos musicais, simuladores virtuais e um instrumento arcaico para a realização de medidas, obtenção e análise de dados e discussão dos resultados obtidos. Para a sua construção foi empregada a metodologia dos 3 Momentos Pedagógicos (3MPs), desenvolvida por Demétrio Delizoicov e José André Angotti e apresentada no livro Física (1990) e que será discutida com maiores detalhes no Capítulo 3 desta dissertação.

Esse material didático visa aliar teoria e prática, garantindo aos alunos uma maior interação e proatividade nas aulas, além de uma abordagem contextualizada e com demonstrações experimentais, fazendo com que a aula de Física fique mais prazerosa aos alunos e ao professor. Espera-se também proporcionar aos alunos a interação com um instrumento musical específico, neste caso um violão, que será utilizado como pano de fundo para a observação de fenômenos físicos relacionados ao som. A escolha pelo uso do instrumento arcaico se deu após longa pesquisa bibliográfica, que permitiu vislumbrar uma gama de possibilidades para o tratamento dos fenômenos físicos em questão, além de ser um instrumento de simples construção. Ele permite que os alunos possam realizar

medidas de uma maneira sistemática e quantitativa, permitindo assim uma experiência de investigação e introdução ao rigor da metodologia científica, onde podem ser verificadas as relações existentes entre algumas grandezas físicas, como frequência/comprimento da corda e frequência/tensão na corda, diferente das análises qualitativas geralmente realizadas em instrumentos musicais convencionais, como um violão por exemplo.

A utilização de simuladores foi motivada em parte pela atual e inédita situação sanitária que assola o Brasil e o mundo, e que forçou a implementação e aprimoramento de modalidades de ensino não presenciais e híbridas. Assim, os simuladores podem desempenhar um papel importante como ferramenta auxiliar no ensino de física, tanto nessas modalidades quanto em aulas presenciais. No entanto, como aponta Silva (2020) o simulador deve estar inserido no contexto da aula, seja para introduzir um novo tema, como parte da problematização da aula ou ainda como demonstração de um fenômeno físico. No contexto desse trabalho, ele será utilizado como ferramenta para a elucidação e explicação qualitativa de fenômenos ondulatórios relacionados ao som.

Ao final da sequência didática, espera-se que os alunos possam ser capazes de generalizar e usar de maneira mais ampla os conhecimentos adquiridos no decorrer dos encontros e que foram postos em prática nas atividades experimentais e simulações virtuais, garantindo assim o que Araújo e Abib (2003) chama de participação plena dos indivíduos no processo de ensino-aprendizagem.

A estrutura desta dissertação foi pensada de forma a contemplar aspectos relevantes para a concepção, construção e aplicação do produto educacional, que encontra-se disponível no Apêndice B. No Capítulo 2 há uma breve revisão bibliográfica com a descrição e análise crítica de alguns trabalhos correlatos a essa proposta realizados nos últimos dez anos. No Capítulo 3 são apresentados os conceitos físicos que compõem o arcabouço teórico envolvido na construção e proposta de aplicação do produto educacional em questão. No Capítulo 4 é discutido o referencial didático pedagógico utilizado, com uma descrição de cada uma das etapas que o compõem. No capítulo 5 é descrita a concepção e estrutura do produto, além dos instrumentos didáticos e metodologia de ensino utilizados. Já no Capítulo 5 o leitor pode encontrar um relato da aplicação do produto educacional em sala de aula, cujos resultados e discussão são apresentados no Capítulo 6. Por fim, o capítulo 7 traz as conclusões, considerações finais e perspectivas futuras do trabalho.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo é resultado de uma pesquisa bibliográfica acerca de alguns trabalhos relacionados ao tema Física e Música, publicados e/ou apresentados a partir de 2010 no Brasil e no exterior. O objetivo dessa revisão foi obter um maior embasamento acerca do que está sendo feito no que tange o escopo deste trabalho, contextualizando-o temporalmente e metodologicamente, além de identificar pontos positivos e negativos de cada metodologia.

Optou-se pela escolha de publicações mais recentes e que desenvolveram o estudo da ondulatória focados ou auxiliados pelo tema de acústica, a fim de obter uma maior clareza acerca do contexto ao qual o tema desta dissertação está inserido na atualidade. A base dessa pesquisa consiste em artigos e trabalhos publicados e desenvolvidos dentro ou fora do âmbito do MNPEF, destacando-se pela forma e metodologia com que abordaram o estudo de ondas e som. Foram selecionados trabalhos que consistiam de sequências didáticas utilizando o tema Física e Música, além de trabalhos que tratavam da metodologia dos 3 MPs, o que permitiu identificar diretrizes e vislumbrar os passos e a estrutura que levariam a criação deste trabalho especificamente.

Foram selecionados os trabalhos que consistem de sequências didáticas dentro do tema Física e Música e trabalhos que tratassem da metodologia dos 3 momentos pedagógicos, o que permitiu vislumbrar os passos que levariam a criação deste trabalho.

Silva et al. (2017). em seu artigo apresentado no XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC, em Florianópolis no ano de 2017, basearam-se na perspectiva dos 3MPs (3 momentos pedagógicos) com enfoque em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) para aplicar 4 roteiros. Partiram da problematização inicial de um vídeo sobre uma cantora de ópera que estoura uma taça com sua voz, com o intuito de extrair dos alunos conceitos já presentes em seu domínio conceitual e a partir disso relacioná-los com o fenômeno.

No segundo momento utilizaram dois roteiros. Em um deles, com o auxílio de um simulador, organizaram e explicaram a diferença entre altura e intensidade, e no outro apresentaram um vídeo com a explicação do fenômeno da ressonância a partir de dois diapasões. O segundo roteiro consistia de uma avaliação prática a partir de um experimento no qual, através de uma bacia plástica, uma sacola e sal colorido, era representado o que ocorria ao corpo humano quando exposto a músicas ouvidas pelos estudantes com seus fones de ouvido. Após esse experimento foi aplicado um questionário discursivo a respeito do último experimento, o qual os alunos deviam responder baseado no que foi debatido nos roteiros.

A análise de resultados dessa aplicação foi separada em dois grupos distintos, sendo o primeiro a análise apenas do último experimento e o segundo uma análise da aplicação total dos 4 experimentos. Assim, os autores concluíram que em relação ao questionário do último experimento os alunos tiveram dificuldades em responder com clareza aquelas questões em que era preciso ir um pouco além daquilo discutido em sala, sendo que a maioria deu preferência a explicações pouco detalhadas. Já em relação a análise global dos quatro roteiros, a maioria dos alunos alcançou a média, além de terem percebido que as ondas sonoras, mesmo que invisíveis, não são inertes. Ademais, foi discutido que o uso exagerado do fone de ouvido pode causar danos à audição, levando até mesmo a surdez, e que, assim como os elementos utilizados no último experimento, o corpo humano é um meio de propagação do som.

Destaca-se como um dos pontos positivos a metodologia dos 3MPs, com uma discussão iniciando a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, para somente então trabalhar os conceitos físicos em si mais formalmente. Além disso, essa metodologia considera o aluno como um sujeito ativo e não apenas como um mero receptor de informações. Outro ponto positivo é a viabilidade de realização das práticas, uma vez que os experimentos são de baixo custo e podem ser reproduzidos em qualquer escola. Um ponto negativo é o fato do professor propor que os alunos compartilhem suas músicas para a realização no último experimento. Isso pode limitar a gama de possibilidades no que tange a diversidade de estilos musicais, restringindo assim o eventual contato com outro tipo de música e a oportunidade de ampliação do repertório cultural, que por diversos fatores socioculturais podem ficar restritos a poucos tipos de música.

Já Silva (2017) desenvolveu um trabalho com alunos do 9º ano com o objetivo de desenvolver habilidades e competências que permitiriam aos alunos compreender os fenômenos ondulatórios. Para isso construiu uma sequência didática utilizando instrumentos musicais com diferentes características, e a partir deles e dos conceitos de ondas estacionárias em cordas vibrantes e tubos sonoros, explicou os conceitos de altura, intensidade e timbre, relacionando-os com conceitos como frequência, amplitude e velocidade da onda. O trabalho de Silva (2017) foi aplicado em uma versão preliminar na qual os alunos, a partir da orientação do professor, deveriam construir um protótipo de instrumento musical. Como o trabalho não alcançou os objetivos iniciais, o mesmo foi adaptado com o intuito de aplicar a ferramenta analítica de Mortimer e Scott, pois Silva (2017) concluiu que trabalhar com instrumentos já produzidos daria mais ritmo à realização das atividades.

Essa sequência de atividades produzida por Silva foi baseada na proposta de Morini e na ferramenta analítica de Mortimer e Scott. A proposta de Morini, segundo Silva (2017), tem como estrutura dos guias experimentais os seguintes itens: situação problema e questão central, perguntas preparatórias, respostas coletivas às perguntas preparatórias, atividade experimental (real ou virtual), respostas à questão central e aprofundamento. Já

a ferramenta analítica de Mortimer e Scott é baseada em cinco aspectos interrelacionados que promovem as interações no grupo e a construção de significados, focalizando o papel do professor. Esses cinco aspectos são as intenções do professor, conteúdo, abordagem comunicativa, padrões de interação e as intervenções do professor.

A versão final do trabalho de Silva (2017) foi aplicada em duas etapas, divididas em 6 episódios, sendo os episódios 1 e 2 com dois nonos anos e os episódios 3, 4, 5 e 6 aplicados no laboratório de Física com um grupo de nove voluntários. Os seis episódios foram filmados para a transcrição dos diálogos, sendo a privacidade dos alunos preservada. Os resultados obtidos, segundo Silva (2017), foram de que as variações nas classes de abordagem comunicativa-dialógica/de autoridade, interativa/não interativa ajudam no processo de significação e por isso promovem a construção de conhecimento.

Um dos pontos negativos é que os encontros 3, 4, 5 e 6 foram aplicados com apenas 9 alunos selecionados, o que pode ser um entrave para aplicação em outras escolas, onde o professor não tem o apoio para poder trabalhar com um pequeno número de alunos, seja no contra-turno ou período normal da aula. Além disso, quanto maior o número de alunos, maior a possibilidade de questões e curiosidades apresentadas por estes no que tange a física relacionada à música e aos instrumentos musicais. De qualquer forma, o projeto possibilitou aos alunos o manuseio de uma guitarra e uma flauta, o que agrega valor motivacional à aula. Uma sugestão do autor é realizar um levantamento prévio para saber quais alunos têm familiaridade com instrumentos musicais, fazendo assim uma divisão homogênea dos grupos no que tange o conhecimento prévio.

O trabalho de Coelho (2016) sobre a aplicação de um monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais baseou-se na hipótese de que esses elementos podem ser estruturantes e auxiliar na identificação de conceitos prévios(subsunçores), que podem ser utilizados na construção do conhecimento sobre física ondulatória.

A sequência didática do trabalho foi desenvolvida a partir de um teste sondagem inicial, a fim de identificar os subsunçores da turma e a seguir desenvolver o restante da sequência didática. Os subsunçores abordados no trabalho foram a percepção auditiva de sons agudos e graves e consonância e dissonância perceptuais, onde foram utilizados um violão, simulador computacional e aula expositiva.

Já o conteúdo aborda conceitos musicais de graves e agudos, consonância e dissonância, e conceitos físicos de frequência, comprimento de onda, período, velocidade de propagação de uma onda, consonância e dissonância máxima e relação da velocidade de propagação de uma onda com a tensão do meio na qual se propaga.

O autor verificou um impacto positivo na aprendizagem dos conceitos abordados a partir da introdução de aparatos experimentais e manipulação direta dos alunos. Ele atribui ainda à introdução de aparatos experimentais um elemento importante para tornar

as aulas de física mais interativas e voltadas para o aluno, além da importância do uso do violão como situação motivadora desde o início da sequência. Ainda segundo o autor, há um grupo heterogêneo em relação ao engajamento e por esse motivo nem todos apresentaram o mesmo índice de aprendizagem.

Para o autor, um dos resultados positivos do projeto pode ser evidenciado a partir do relato dos alunos após as aulas práticas, que manifestaram uma maior compreensão acerca da necessidade do estudo de funções na disciplina de matemática. Aparentemente a partir dos experimentos ficou claro que cada função é construída para representar um modelo ou situação prática, como a vivenciada por eles durante a aplicação do produto. Um dos pontos negativos citado é a dinâmica e cultura da escola, que não favorecia um engajamento muito grande dos alunos.

Já o trabalho de Costa (2018) tem por finalidade oferecer ao docente uma alternativa para a avaliação ou para problematização de um tema relacionado ao ensino de ondulatória, acústica ou movimento harmônico simples do ponto de vista da instrumentação metodológica.

A proposta do trabalho é avaliar os alunos através de um jogo de tabuleiro, fazendo uma abordagem da música do ponto de vista físico. Assim, através de uma abordagem alternativa e lúdica, a ideia é atrair os estudantes a adentrar no universo científico.

Segundo o autor, a escolha da música como tema instigador se deu a partir da observação dos principais temas que atraem a atenção dos alunos em geral. Essa estratégia se baseia na premissa de trazer um tema que os estudantes gostem de conversar em seus momentos livres.

Já a escolha pelo uso de jogos se justifica segundo o autor pela interação e movimentação dos estudantes com o propósito comum de vencer no jogo, o que por sua vez serve como estímulo e motivação, uma vez que se cria um conjunto maior de sentidos na participação das atividades.

Sobre a metodologia, o trabalho foi baseado nos 3MPs (três momentos pedagógicos) e consistiu em um jogo de tabuleiro, o qual foi estendido no chão da sala de aula, com a turma dividida em equipes. O propósito do jogo era atravessar o tabuleiro de uma extremidade até a outra de acordo com os acertos das perguntas sobre música no contexto da física.

No primeiro momento foi aplicado um questionário com perguntas sobre ondulatória e acústica, com os objetivos de identificar o nível de conhecimento prévio da turma e também registrar suas respostas para fins de comparação com outra avaliação ao final da aplicação do produto.

O segundo momento foi uma aula no estilo de diálogo onde os alunos tiveram a liberdade para questionar sobre assuntos relacionados ao tema onda, bem como responder

questões levantadas pelo professor.

No último momento foi feita a aplicação do produto, onde os alunos puderam colocar em prática os conhecimentos adquiridos nos encontros anteriores, participando assim do jogo de tabuleiro com as perguntas e respostas. Ao final foi aplicado novamente o questionário do primeiro momento a fim de se comparar os avanços obtidos.

Segundo o autor, a média geral de acertos da turma ao final do primeiro questionário foi de 26,6%, já na segunda aplicação a média geral de acertos da turma foi de 44,3%, representando um aumento de 17,7% na média geral de acertos da turma. O autor relata ainda que os estudantes tiveram um senso de curiosidade científica despertada, além de uma reflexão de que poderiam ter aproveitado melhor a experiência se não houvessem tantas lacunas vazias em sua formação matemática e científica.

Andreotti e Frans (2019) no artigo *The connection between physics, engineering and music as an example of STEAM education*, descrevem a abordagem STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) desenvolvida no âmbito do projeto iMuSciCA (atividades colaborativas interativas de Música e Ciência) da União Europeia, pertencente ao programa Horizon 2020.

No artigo é apresentado e descrito o modelo pedagógico no qual se baseiam, fornecendo um exemplo concreto aplicável em sala de aula. Eles iniciam o texto descrevendo como a música pode ser o elo de ligação entre as demais áreas da abordagem STEAM, fazendo isso através da discussão de como Engenheiros usam conceitos físicos para desenvolver novas tecnologias, como a Engenharia é usada para construir material para a Física Experimental.

Além disso, também discutem como a Matemática é usada para modelar os conceitos nessas áreas e como a pesquisa matemática se beneficia das influências das outras áreas científicas. Eles ainda falam que a música, apesar de parecer estranha a essas áreas, possui muitas conexões, seja a tecnologia necessária para a construção de um sintetizador, por exemplo, seja no estudo das ondas sonoras e toda a acústica.

Após essa breve discussão, eles apresentam uma possível aula envolvendo esse tema e que, segundo eles, pode ser aplicada com alunos de 14 a 18 anos. O planejamento da aula é feito todo pensando no uso das simulações disponíveis no endereço do programa [iMuSciCa](#). A atividade é distribuída em 5 etapas, na seguinte sequência: Música, Engenharia, Física, Engenharia e Música.

Na primeira etapa os alunos, com o uso da simulação guitarra virtual no 3D Virtual Instrument Design da bancada iMuSciCA, deverão afinar um violão que qualquer pessoa consiga tocar. Para que isso aconteça os alunos devem procurar uma afinação diferente da afinação padrão EADGBE, pois na afinação padrão, para que o som seja harmônico, os alunos deveriam criar acordes, o que não é simples para a maioria das pessoas leigas.

Na segunda etapa vem a parte do projeto do instrumento, onde eles devem então projetá-lo com a finalidade de que o mesmo consiga ser afinado com a afinação encontrada na primeira etapa. Isso é feito na mesma simulação, onde apesar de não precisar conhecer os conceitos físicos por trás do processo da afinação do instrumento, a simulação permite que eles trabalhem com esses parâmetros de maneira experimental.

Na terceira etapa é chegada a hora de entender qual o significado físico dos parâmetros que foram manipulados na segunda etapa, e como eles se relacionam com a afinação dos instrumentos. Já na quarta etapa eles devem então retornar a simulação, fazendo agora uso dos conceitos físicos aprendidos na etapa 3 para projetarem seus instrumentos de maneira que qualquer um consiga tocar o instrumento de maneira harmônica.

A última etapa consiste do momento em que os alunos tocarão os instrumentos por eles projetados, lembrando que esses instrumentos são virtuais e construídos na simulação, como descrito nas etapas anteriores.

O trabalho desses pesquisadores procura mostrar como a abordagem STEAM neste caso é trabalhada de maneira interdisciplinar, onde os alunos conseguem observar qual área está sendo estudada em cada momento, diferentemente de uma abordagem integrada, onde muitas vezes os alunos acabam se perdendo, pela semelhança na abordagem feita pelas diferentes áreas da STEAM.

Um ponto negativo desse tipo de abordagem para a realidade brasileira seria o tempo necessário para aplicação do mesmo, uma vez que ao se optar por uma abordagem interdisciplinar, por vezes é preciso se aprofundar em conceitos pertencentes a cada área, diferentemente de uma abordagem integrada, onde os conceitos são trabalhados de maneira comum entre as áreas, o que pode ser feito de uma maneira mais rápida.

3 A Física do Som

A seguir serão apresentados e discutidos alguns dos conceitos fundamentais que compõem o arcabouço teórico envolvido na construção e proposta de aplicação do produto educacional em questão. Para garantir a coerência textual, optou-se por iniciar dos conceitos mais fundamentais relacionados às ondas, culminando numa discussão qualitativa acerca do timbre.

3.1 Ondas

Fenômenos ondulatórios se manifestam de diversas maneiras no dia-a-dia do ser humano, e com o qual ele convive desde o seu nascimento. Provavelmente, quando se pensa na palavra onda, a imagem que vem à cabeça seria de uma onda no mar ou a onda causada por uma pedra ao cair em um lago, entretanto, as ondas na natureza não se reduzem apenas a esses dois tipos.

SEARS et al. (2015) citam alguns exemplos distintos de ondas, como as ondas sísmicas, que transportam energia pela crosta terrestre, ou ainda as ondas eletromagnéticas, que podem se propagar e transportar energia através do vácuo e que incluem as ondas de rádio, as radiações infravermelha e ultravioleta, os raios X, entre outras. Apesar da existência de diversos tipos de ondas, o presente trabalho terá como foco apenas as ondas mecânicas, mais especificamente as ondas sonoras, de modo que os conceitos discutidos neste capítulo são aqueles pertinentes à compreensão dessas ondas em questão e fenômenos associados a elas.

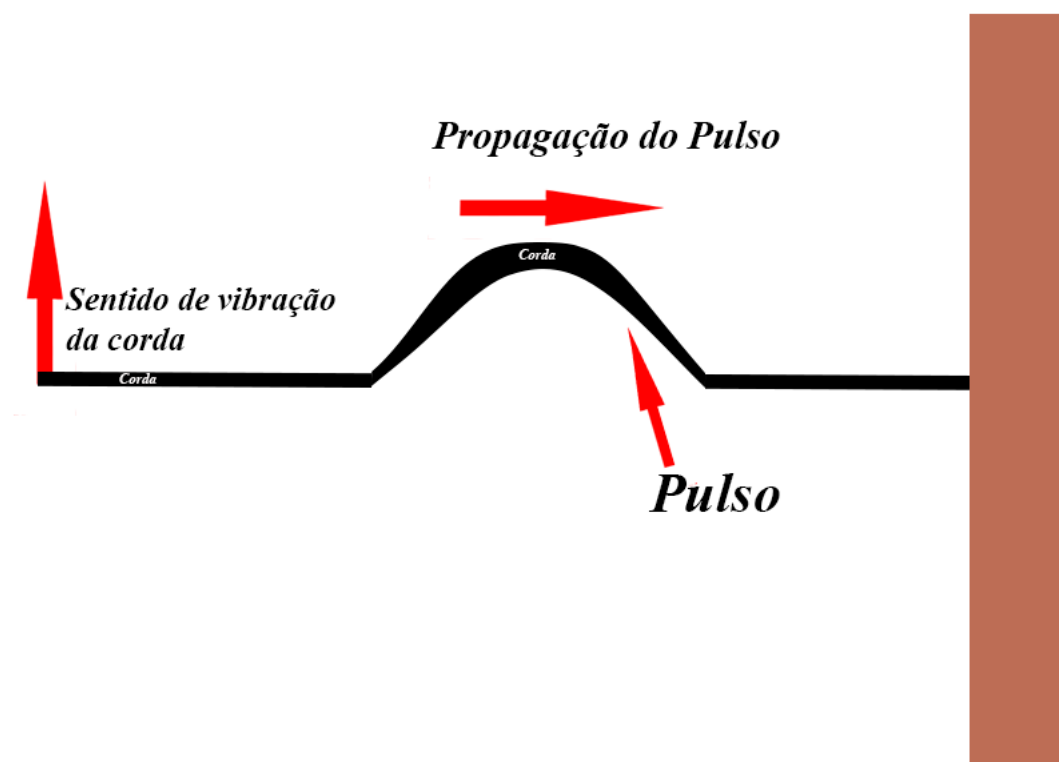
3.1.1 Ondas Mecânicas

Segundo SEARS et al. (2015) uma onda mecânica é uma perturbação que se desloca de um ponto a outro de um meio com velocidade definida, sendo que, a medida que esta se propaga, as partículas que constituem o meio sofrem deslocamentos de diversas espécies, dependendo da natureza da onda. Em geral, a transmissão do sinal entre dois pontos distantes ocorre sem que haja transporte direto de matéria de um desses pontos ao outro. Dessa forma, uma onda pode ser classificada de 3 formas, de acordo com o perfil de sua vibração: onda transversal, onda longitudinal e onda mista.

Uma onda em que o movimento do meio é perpendicular à sua direção de propagação é chamada de onda transversal. Um exemplo desse tipo de onda é aquela produzida numa

corda tensionada, conforme explicitado na Figura 1, onde é possível observar o movimento da corda na direção vertical e a onda se propagando na direção horizontal.

Figura 1 – Pulso de uma onda transversal se propagando em uma corda.



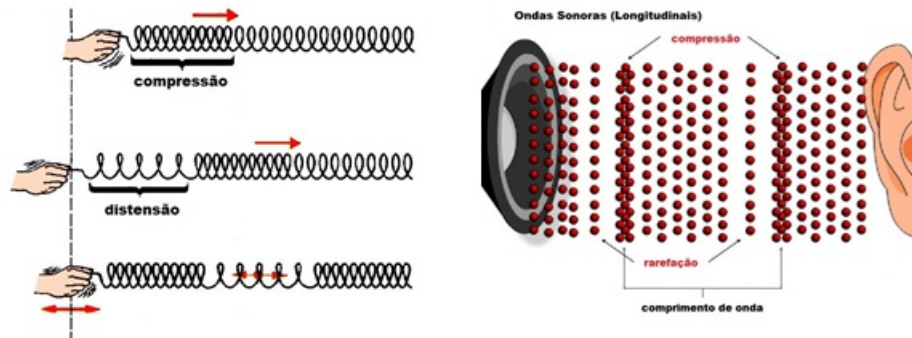
Fonte: O próprio autor

Uma onda em que o meio se move na mesma direção da onda é chamada de onda longitudinal, cujo exemplos seriam uma onda que se desloca longitudinalmente numa mola, ou uma onda sonora que se desloca no ar, como descrito na Figura 2.

Existem ainda algumas ondas que possuem vibrações longitudinais e transversais simultâneas. Um exemplo desse tipo são as ondas do mar, como ilustrado na Figura 3.

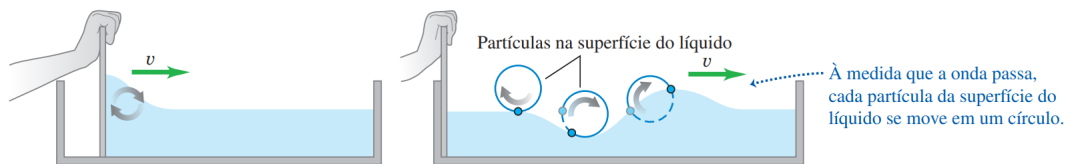
A Figura 3 ilustra o comportamento das partículas que compõem o meio onde a onda se propaga. Em um determinado instante elas estão se deslocando longitudinalmente e num instante seguinte transversalmente, fazendo assim um movimento circular e retornando novamente à sua posição inicial. Em relação à configuração da onda transversal, os pontos mais altos desta são chamados de cristas e os pontos mais baixos de vale, conforme ilustrado

Figura 2 – Exemplos de ondas longitudinais.



Fonte: Medeiros (2011)

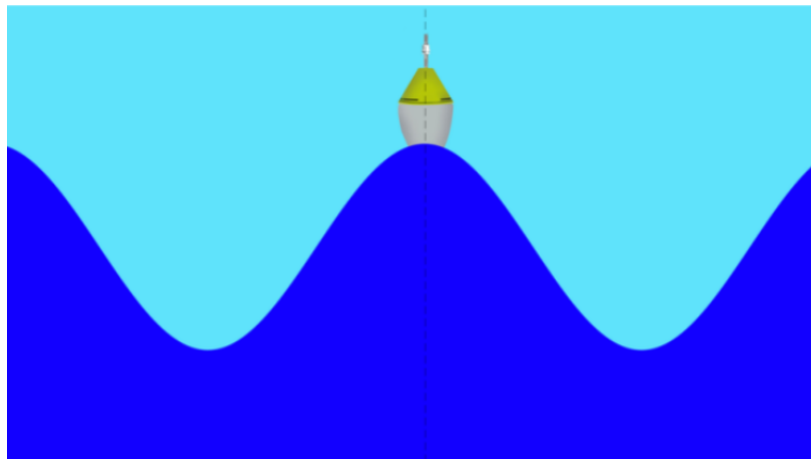
Figura 3 – Onda mista na superfície de um líquido.



Fonte: Sears et al. (2015, p. 114)

nas Figuras 4 e 5, onde é possível observar, respectivamente, uma rolha no ponto mais alto da onda (crista) e uma rolha no ponto mais baixo dela (vale).

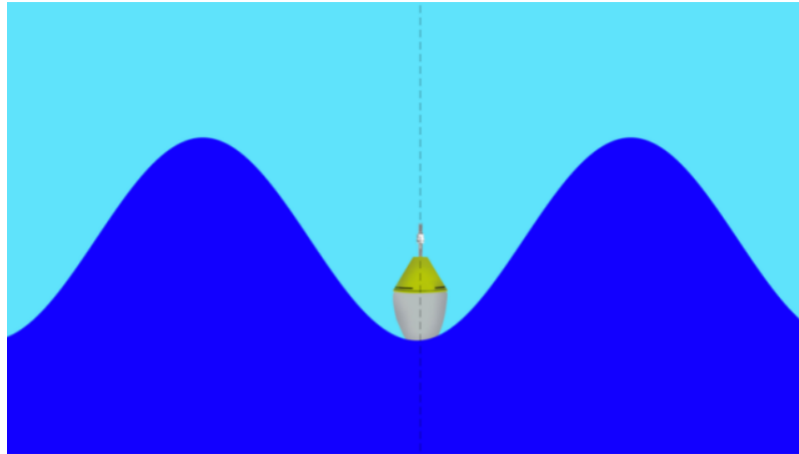
Figura 4 – Rolha na crista da onda.



Fonte: Próprio Autor

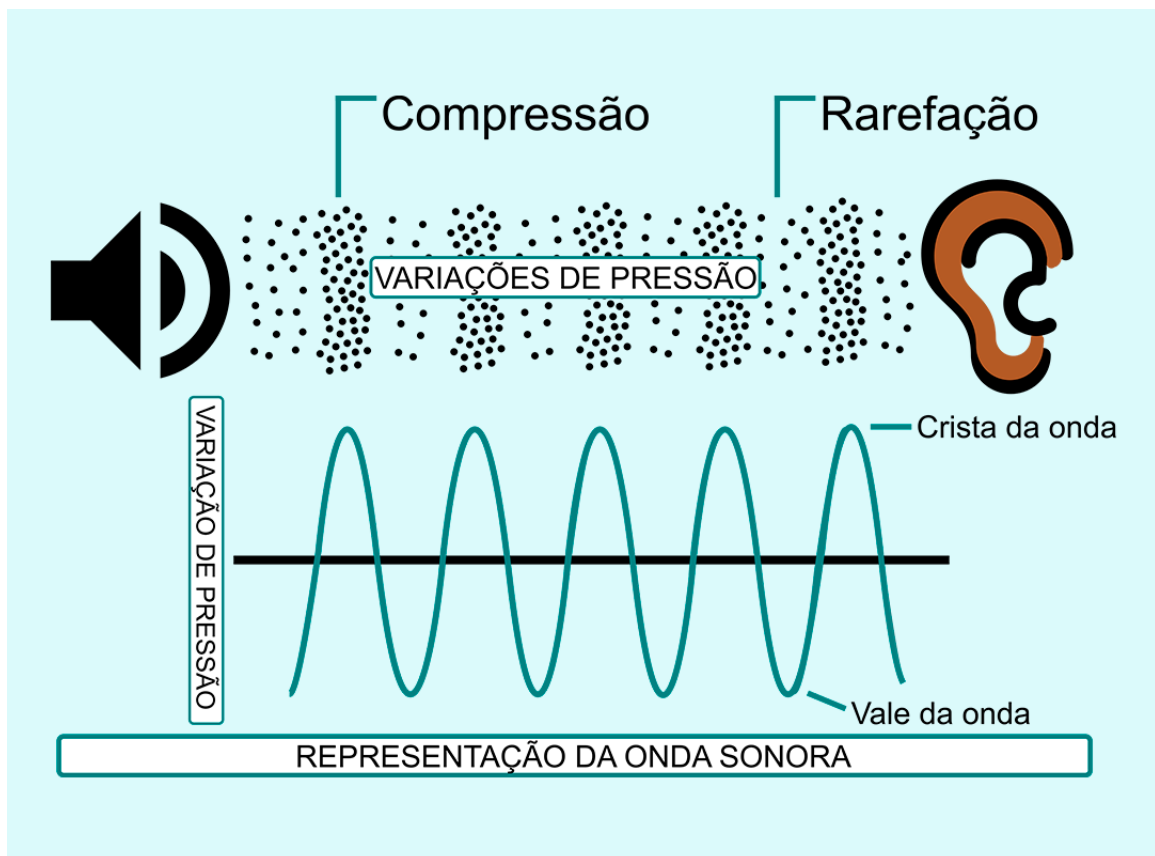
Já em uma onda longitudinal os pontos de crista e vale correspondem respectivamente, aos pontos de maior e menor compressão. Essa correspondência pode ser visualizada através da comparação de um gráfico da variação da pressão, com a propagação de uma onda sonora e suas zonas de compressão e rarefação, como mostra a Figura 6.

Figura 5 – Rolha no vale da onda.



Fonte: Próprio Autor

Figura 6 – Correspondência entre a crista e o vale, com as zonas de compressão e rarefação em uma onda longitudinal.



Fonte: Wikipedia (2023)

3.1.2 O Som

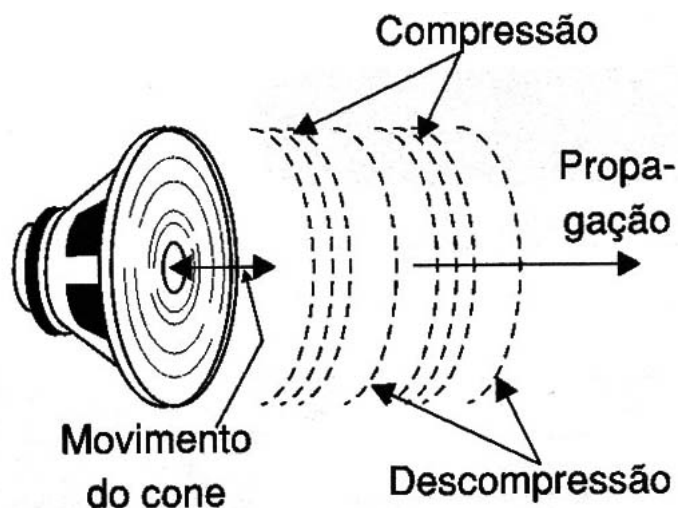
Para ilustrar a definição de som apresenta-se aqui uma questão feita por Hewitt (2015) em seu livro Física Conceitual: “Se uma árvore cai no meio de uma floresta fechada,

a centenas de quilômetros de distância de qualquer ser vivo, existe um som?”. Segundo a discussão realizada no livro, algumas pessoas podem responder que não existe som, pois ninguém ouvirá, logo a queda da árvore não produziu um som. Mas como o próprio autor responde, os cientistas definem o som como uma forma que existe independente de ser ouvido ou não. Assim, pode-se dizer que qualquer fenômeno físico que cause uma perturbação suficiente para causar ondas de pressão no ar, é considerado uma fonte sonora. Seja uma árvore caindo na floresta, uma garrafa de champagne sendo aberta ou até mesmo as gotas de chuva caindo no telhado.

Para Nussenzveig (2018) “O fato de que o som se propaga através de um meio material sem que haja transporte de matéria de um ponto a outro já é uma indicação de sua natureza ondulatória”. Ou seja, o som é uma onda e por isso se comporta como tal. Ele nos diz qual é a natureza dessas ondas: “Um fluido como a atmosfera não pode transmitir tensões tangenciais, de modo que as ondas sonoras na atmosfera são ondas longitudinais, associadas a variações de pressão, ou seja, a compressões e rarefações”.

Nesse contexto, quando se observa um alto-falante pode-se ver que ele se movimenta para frente e para trás. Ao se movimentar para frente o alto-falante cria uma região onde o ar fica comprimido, ao ir para trás o alto-falante cria uma região de rarefação no ar, ou seja, cria regiões de grande densidade de ar ao comprimir e de pouca densidade ao rarefazer, respectivamente, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Funcionamento de um alto falante e a criação da onda sonora.



Fonte: Braga (2022)

Essa relação entre variação de pressão e propagação da onda pode ser descrita da seguinte maneira:

Se um objeto for movido em algum lugar no ar, observamos que ocorre uma perturbação que viaja pelo ar. Se perguntarmos que tipo de perturbação, diríamos que esperaríamos que o movimento do objeto produziria

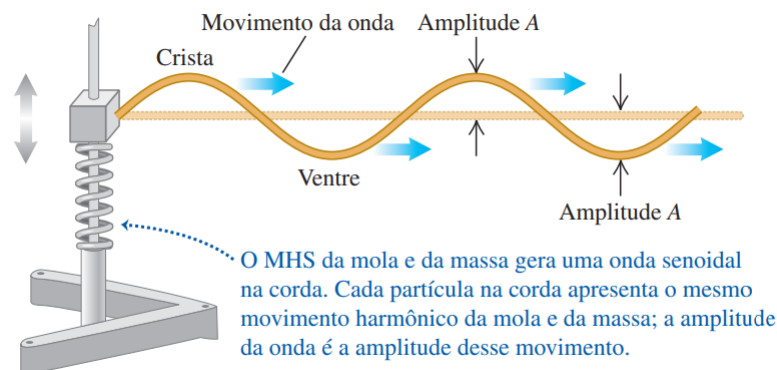
uma modificação na pressão. Naturalmente, se o objeto fosse movido suavemente, o ar simplesmente flui em torno dele, mas o que nos interessa é um movimento rápido, de modo que não haja tempo suficiente para tal fluxo. Então, com o movimento, o ar é comprimido e uma variação da pressão é produzida que empurra ainda mais ar. Esse ar é por sua vez comprimido, que produz novamente uma pressão extra, e uma onda é propagada (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p .47-3).

De forma geral pode-se definir fisicamente que o som é uma onda mecânica (precisa de um meio para se propagar), longitudinal (propagação paralela à vibração) e tridimensional (se propaga em 3 dimensões). Além disso, esse deslocamento longitudinal está associado a oscilações na densidade e pressão do meio material que está transportando essa onda.

3.1.3 Ondas Mecânicas Periódicas

Ondas periódicas são aquelas em que cada partícula do corpo em movimento realiza um deslocamento repetitivo ou periódico (SEARS et al., 2015). Um tipo importante de onda periódica é aquela produzida a partir de pulsos com Movimento Harmônico Simples (MHS), formando assim uma onda do tipo senoidal, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Onda periódica produzida por um MHS.



Fonte: Sears et al. (2015, p. 116)

O movimento harmônico simples é definido por SEARS et al. (2015) como sendo aquele onde a força restauradora é diretamente proporcional ao deslocamento da posição de equilíbrio.

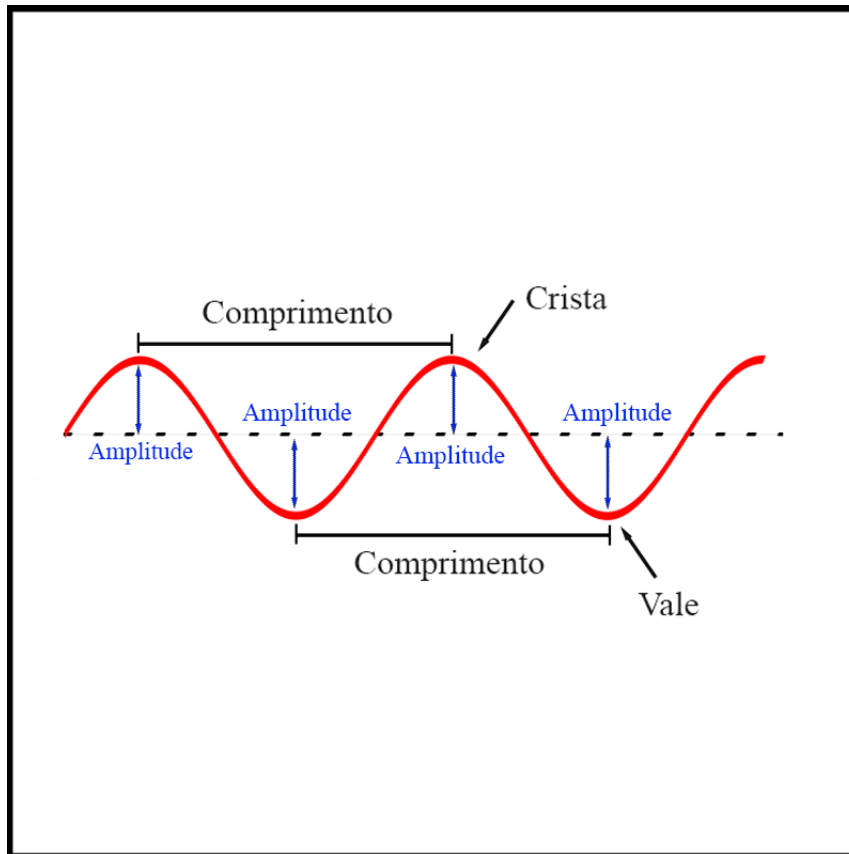
3.1.3.1 Características de uma onda periódica

Ao analisar o agente externo que realiza e repete pulsos em períodos de tempos iguais em uma corda fixa, produzindo assim uma onda periódica, é possível inferir algumas

características e grandezas físicas bem definidas para esse tipo de onda, como amplitude, comprimento de onda, frequência, período e velocidade de propagação.

A amplitude de uma onda pode ser definida como sendo a máxima distância entre o ponto de equilíbrio e a crista ou vale da onda (HEWITT, 2015), conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Propriedades de uma onda transversal que se propaga em uma corda.



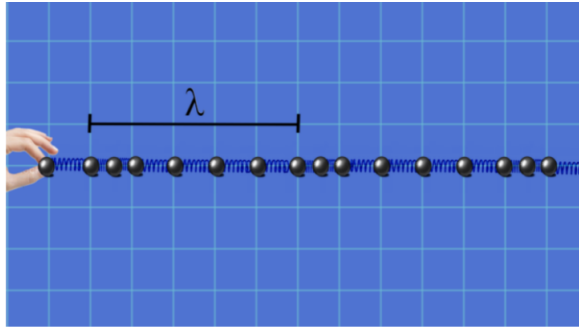
Fonte: Próprio autor.

O comprimento de uma onda, representado por λ (lambda), pode ser definido como o espaço percorrido por ela quando a partícula passa a repetir seu movimento, ou ainda, como a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos, conforme já ilustrado na Figura 9.

No caso de uma onda longitudinal, o comprimento da onda é a distância entre uma compressão máxima e outra. Isso pode ser ilustrado no caso de esferas conectadas por molas, como representado na Figura 10.

A Frequência de uma onda (f) pode ser definida como a taxa de repetição dos pulsos que a constituem, por exemplo, uma onda que é produzida realizando-se 2 pulsos (ciclos) por segundos tem uma frequência de 2 ciclos por segundo. No Sistema Internacional de Unidades esses ciclos por segundo levam o nome hertz (Hz).

Figura 10 – Comprimento de uma onda longitudinal: distância entre duas compressões



Fonte: Próprio autor

O Período de uma onda (T) pode ser definido como o tempo que um pulso dessa onda leva para completar uma oscilação completa, ou ainda o intervalo de tempo entre a emissão de dois pulsos. Assim, também é possível definir o período como o inverso da frequência, ou seja, se uma onda tem uma frequência de 2 Hz, isso significa que ela realiza duas oscilações completas a cada segundo, logo, para que isso aconteça, o tempo (período) para que um pulso realize uma oscilação completa deve ser meio segundo.

Matematicamente a frequência f da onda e o seu período T se relacionam conforme a equação (3.1).

$$f = \frac{1}{T}. \quad (3.1)$$

De posse dessas informações pode-se ainda definir a velocidade de propagação da onda, como sendo igual ao quociente de deslocamento (nesse caso é igual ao comprimento da onda) pelo intervalo de tempo (nesse caso igual ao período da onda). Sendo assim temos que:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T}. \quad (3.2)$$

Como o período é o inverso da frequência, substituindo a equação (3.1) na equação (3.2), resulta em:

$$v = \frac{\lambda}{\frac{1}{f}} = \lambda f. \quad (3.3)$$

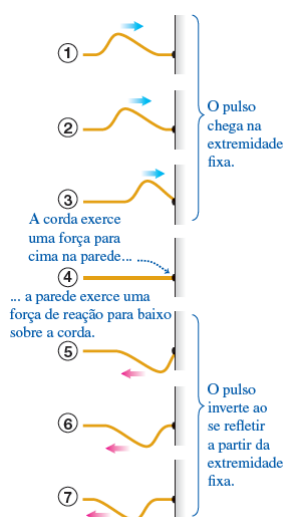
Ou seja, a velocidade de propagação pode ser definida a partir do produto comprimento de onda pela sua frequência de oscilação.

3.1.4 Ondas estacionárias

Considerando uma corda presa a um suporte rígido como uma parede, por exemplo, quando um pulso chega a esta, irá exercer uma força sobre a mesma e, conseqüentemente, devido a força de reação, é criado um pulso refletido invertido na corda que se propaga no sentido oposto. Se pensarmos em termos de energia, à medida que onda vai se propagando na corda, a energia vai sendo transferida através das partículas da corda à medida que elas oscilam. No caso de uma corda fixa quando a onda atinge a extremidade fixa, a energia precisa ser transmitida para algum lugar, no entanto elas não podem transmitir a onda para além da extremidade fixa, em vez disso, a energia será refletida para a corda, o que resulta numa onda refletida.

Quando uma onda atinge a extremidade fixa da corda, ocorre uma mudança brusca nas condições de propagação da onda. A extremidade fixa impõe uma condição de contorno específica à onda, na qual a corda não pode se mover verticalmente na extremidade. Essa condição de contorno é essencialmente uma restrição física. Por causa dessa restrição, a onda é forçada a se refletir e retornar na direção oposta, mas de acordo com a condição de contorno, é necessário que aconteça uma inversão de fase, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Pulso de onda refletido.

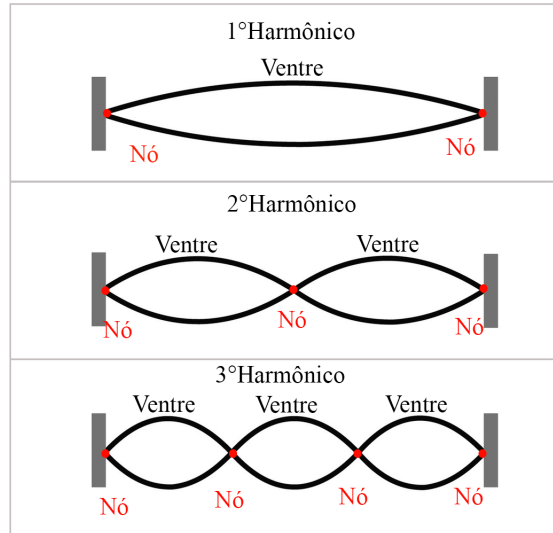


Fonte: Sears et al. (2015, p. 133)

Ao se analisar uma oscilação em movimento harmônico simples em uma corda com ambas as extremidades fixas, quando uma onda incidente atinge uma extremidade fixa, ocorre a reflexão da onda, o que resulta na superposição da onda incidente e da onda refletida. A superposição das ondas pode levar à formação de padrões de interferência, existem condições específicas para que isso aconteça, nos quais as cristas e os vales de ambas as ondas se encontram e se combinam. Essa interferência, provoca uma distribuição de amplitude resultante que não se parece mais com duas ondas isoladas, parecerá nesse

caso estar subdividida em diversos segmentos, com padrões que se repetem como ilustrado na Figura 12. Padrões esse que são chamados de harmônicos.

Figura 12 – Harmônicos em uma corda com suas extremidades fixas.



Fonte: Próprio autor

A esse tipo de onda é dado o nome de onda estacionária, cujos pontos onde a corda nunca se move são chamados nós e os pontos onde a amplitude do movimento da corda é máxima são os ventres, conforme já ilustrado na Figura 12.

Ondas estacionárias são encontradas em muitos instrumentos musicais, como no violão por exemplo. Ao perturbar uma das cordas deste, é gerada uma onda que se reflete sucessivamente nas suas extremidades, produzindo assim uma onda estacionária no instrumento, que dará origem a uma onda sonora que se propaga através do ar.

Uma onda estacionária só poderá existir em uma corda com as duas extremidades fixas quando o seu comprimento for proporcional a um número inteiro múltiplo de meio comprimento de onda (SEARS et al., 2015), ou seja:

$$L = n \frac{\lambda}{2}. \quad (\text{com } n = 1, 2, 3, \dots) \quad (3.4)$$

Onde L é o comprimento da corda, v a velocidade da onda e n um número natural. Através de uma manipulação matemática da equação (3.4) e utilizando a relação entre comprimento de onda, frequência e velocidade de propagação definidas na equação (3.3), pode-se chegar a uma outra equação, que relaciona a frequência da onda estacionária com o seu comprimento:

$$f_n = n \frac{v}{2L}. \quad (\text{com } n = 1, 2, 3, \dots) \quad (3.5)$$

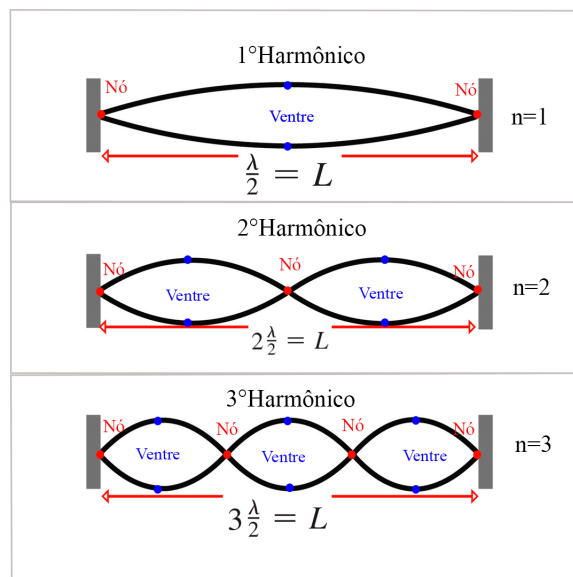
Sendo f_n frequência de onda estacionária de uma corda fixa nas duas extremidades, L o comprimento da corda, v a velocidade da onda, e n um número natural. Quando $n=1$ tem-se a chamada frequência fundamental. Essas frequências específicas são chamadas de harmônicos, sendo a série desses valores conhecida como série harmônica e o primeiro harmônico correspondente à frequência fundamental (SEARS et al., 2015).

Outra definição importante diz respeito aos modos naturais, derivados da equação da frequência da onda estacionária:

Um modo normal de um sistema oscilante é um movimento no qual todas as partículas do sistema se movem senoidalmente com a mesma frequência. Para um sistema constituído por uma corda de comprimento L com as duas extremidades fixas, cada uma das frequências fornecidas pela equação da frequência da onda estacionária corresponde a um padrão com um modo normal possível (SEARS et al., 2015, pg-140).

Para uma corda fixa em suas duas extremidades existe uma possibilidade muito grande de modos normais, uma vez que pode ser considerado que a mesma é constituída de infinitas partículas. A Figura 13 ilustra o padrão dos 3 primeiros modos normais.

Figura 13 – Harmônicos em uma corda com suas extremidades fixas e seus modos normais.



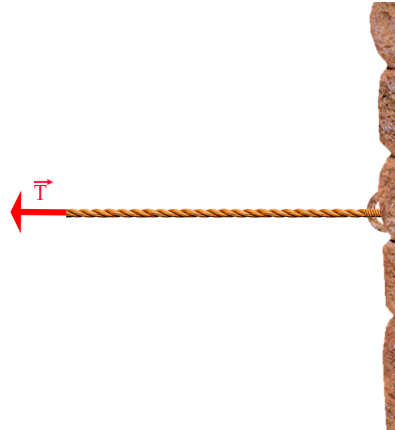
Fonte: Próprio autor

Nas ondas estacionárias produzidas por uma corda com suas extremidades fixas, é possível ainda definir a frequência em função da tensão na corda e de sua densidade linear de massa.

Uma corda esticada na horizontal e tracionada como mostra a Figura 14, possui uma força T (tração ou tensão).

Para produzir um pulso de onda transversal nessa corda é necessário que haja sobre ela uma força \vec{F}_y perpendicular à direção da corda, com isso a corda é perturbada e o

Figura 14 – Corda tracionada

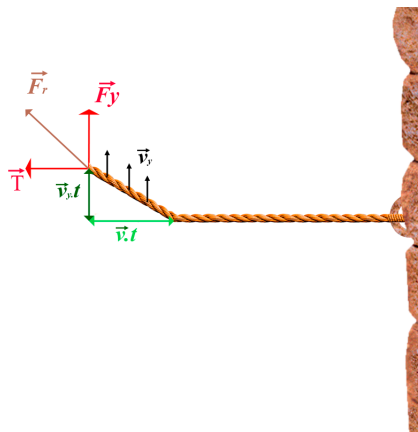


Fonte: Próprio autor

pulso surge, conforme é ilustrado na Figura 15. Essa força \vec{F}_y provoca um impulso no segmento de corda determinado pelo comprimento L , produzindo assim uma variação de sua quantidade de movimento, que inicialmente estava em repouso, fazendo com que os pontos deste trecho adquiram uma velocidade v_y . Considerando que a força é aplicada em um intervalo de tempo muito pequeno, a velocidade v_y pode ser considerada como constante.

Ademais, a Figura 15 ilustra o início da corda já perturbada em um intervalo de tempo t . Em relação à situação inicial, a corda se desloca com uma velocidade vertical v_y e com um deslocamento igual a $v_y t$. Tem-se ainda que o deslocamento horizontal da corda é igual a vt .

Figura 15 – Corda após o início do seu deslocamento, no sentido vertical.



Fonte: Próprio autor

Como o impulso resultante na direção y é igual a variação da quantidade de movimento na direção y , e como neste pequeno intervalo de tempo \vec{F}_y pode ser considerada constante, temos então:

$$\vec{I} = \Delta\vec{Q} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i = \vec{F}_y t. \quad (3.6)$$

Como inicialmente o trecho da corda estudada tem velocidade nula, tem-se:

$$\vec{Q}_f = \vec{F}_y t. \quad (3.7)$$

Sabendo que o momento linear é igual ao produto da massa pela velocidade, tem-se ainda que,

$$\vec{Q}_f = m\vec{v}_y = \vec{F}_y t. \quad (3.8)$$

Considerando que a corda possui uma densidade linear de massa constante, então a mesma pode ser escrita como,

$$\mu = \frac{m}{L}. \quad (3.9)$$

Onde m é a massa referente ao segmento L , sendo,

$$L = vt. \quad (3.10)$$

Relacionando as equações anteriores temos que,

$$m = \mu vt. \quad (3.11)$$

. Substituindo a equação (3.11) em (3.8)

$$\mu vt v_y = F_y t. \quad (3.12)$$

Dividindo ambos os lados da equação por t , fica

$$F_y = \mu v v_y \quad (3.13)$$

Por semelhança de triângulos, na Figura 15, tem-se que:

$$\frac{F_y}{T} = \frac{v_y t}{vt}. \quad (3.14)$$

Substituindo a equação (3.13) na equação (3.14) chega-se a equação:

$$\frac{\mu v v_y}{T} = \frac{v_y}{v}. \quad (3.15)$$

Fazendo as operações algébricas com o objetivo de isolar a velocidade da equação (3.15), chega-se a seguinte expressão:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (3.16)$$

Onde v é velocidade de propagação da onda na corda, T é a força de Tensão na corda e μ é a densidade linear da corda. Podemos então igualar a equação da velocidade de uma onda periódica qualquer (3.3) com a equação da velocidade de uma onda produzida em uma corda com suas extremidades fixas (3.16), ficando:

$$\lambda f = \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (3.17)$$

Isolando a frequência na equação (3.17), podemos então definir a frequência para uma onda produzida em uma corda com suas extremidades fixas, como sendo:

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (3.18)$$

Para o primeiro harmônico, onde $\lambda = 2L$ a equação (3.18) fica:

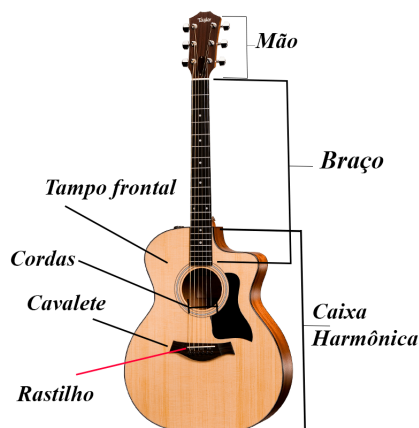
$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (3.19)$$

Dessa maneira, para uma corda de um violão, é possível perceber que a sua frequência de oscilação, a qual produzirá a nota musical, está relacionada com o seu comprimento, a força de tensão aplicada na mesma e a densidade linear da corda. Assim sendo, é possível observar na equação que para aumentar a frequência da onda (tornar o som mais agudo), mantendo a densidade linear da corda constante, deve-se aumentar a tensão da corda ou diminuir o seu comprimento. Já para aumentar a frequência de uma onda com uma tensão e comprimento constantes, deve-se diminuir a densidade linear da corda e para se aumentar a frequência de uma onda com tensão e densidades iguais é necessário diminuir o comprimento da corda.

3.1.5 Som e ressonância

Neste capítulo, será investigada a relação entre um instrumento de corda qualquer e a ressonância, mostrando como as características estruturais do instrumento influenciam a qualidade do som produzido. Para ilustrar melhor isso, será utilizado como exemplo um violão, que é composto por diversas partes que contribuem para o fenômeno de ressonância e produção do som, conforme ilustrado na Figura 16

Figura 16 – As partes do corpo de um violão.



Fonte: O próprio autor

Na figura estão indicadas a cordas, caixa harmônica ou caixa de ressonância, o tampo frontal, as cordas, cavalete, rastilho, braço e mão.

Cordas: As cordas do violão são tensionadas e produzem vibrações quando tocadas. A frequência fundamental dessas vibrações depende das características já citadas na seção anterior.

Caixa harmônica ou caixa de ressonância: é composta por duas partes, o tampo frontal, o qual tem um furo no meio conhecido como boca e o tampo traseiro. Essa caixa é responsável por amplificar as vibrações das cordas e projetar o som para o ambiente.

Tampos: Os tampos são a parte superior e inferior da caixa harmônica e desempenham um papel crucial na ressonância do violão. Eles são geralmente feitos de madeira de qualidade, como *Maple*, Jacarandá Brasileiro, Cedro, etc. E são responsáveis por transmitir as vibrações das cordas para a caixa harmônica. Os tampos do violão são projetados para vibrar de acordo com as vibrações da corda. Ele age como uma membrana que amplifica as oscilações da corda, criando uma ressonância na caixa harmônica do violão.

Ressonância: Sears et al. (2018) descrevem que a ressonância pode ocorrer quando uma força que varia periodicamente é aplicada a um sistema que possui múltiplos modos normais. Pode-se dizer que a ressonância ocorre quando um corpo é excitado por alguma força externa em sua frequência natural de oscilação, o que faz com que suas oscilações sejam amplificadas, ocasionando assim um aumento na amplitude das mesmas.

Relação Ressonância, Instrumento e Som

Ao tocar a corda de um violão, uma onda mecânica transversal se propaga através desta, sendo que uma parcela de sua energia é então transmitida para as partes do violão que estão diretamente em contato com as cordas, o rastilho e o cavalete, que transmitem

essa vibração para o tampo superior. Como os tampos são projetados para que possam agir como membranas, a vibração do tampo superior faz com que o ar comece a vibrar dentro da caixa harmônica do violão. Essa vibração sofrerá diversas reflexões nos tampos e parede da caixa, ocasionando então uma ressonância no interior desta, amplificando essas vibrações e transformando a onda inicial da corda em um som audível.

A ressonância e amplificação do som dependerá da qualidade do material que é feito o violão, sendo que algumas madeiras são melhores do que outras para transmitir essas vibrações.

3.1.6 Contrapontos: Música x Física

Sob a perspectiva musical, Lacerda (1967) descreve o som a partir de 3 propriedades principais: intensidade, altura e timbre, as quais serão descritas aqui através de suas definições para a Física e para a Música.

3.1.6.1 Altura

A altura é a propriedade relacionada à frequência e que permite distinguir um som agudo ou grave, a duração é o tempo de produção do som, a intensidade está associada à potência da fonte e quantidade de energia transportada e o timbre é uma característica associada ao formato das oscilações sonoras e que permite reconhecer sua origem, seja ele proveniente de um piano ou de um violão, por exemplo.

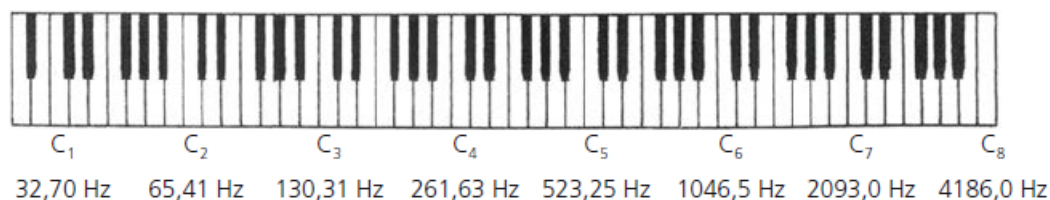
Conforme mencionado no parágrafo precedente, cada uma das propriedades do som descritas por Lacerda (1967) têm uma relação direta com propriedades das ondas. A altura, que está relacionada com a frequência do som, pode ser alterada a partir da variação da frequência de uma onda sonora. Nesse contexto, cada nota possui sua própria frequência de oscilação, sendo que ondas sonoras com baixas frequências produzirão um som grave, enquanto ondas sonoras com altas frequências produzirão sons agudos.

Por exemplo, os instrumentos de cordas costumam ser afinados a partir da produção de uma nota lá, que possui uma frequência de 440 Hz. A partir dessa nota afinam-se as outras cordas, aumentando ou diminuindo as tensões de cada uma delas, e conseqüentemente, suas frequências de oscilação.

Cada altura recebe um nome próprio, dependendo da sua frequência, que são as chamadas notas musicais dó, ré, mi, fá, sol, lá e si. Hewitt (2015) define que as notas que estão dentro desse intervalo de dó a si estão dentro de uma mesma oitava, ou seja, uma oitava é a sucessão das 8 notas musicais, dó, ré, mi, fá, sol, lá, si, Dó, sendo nesse caso o Dó uma oitava acima do dó. Em vista disso, em um instrumento musical pode-se reproduzir várias notas com o mesmo nome, mas dentro de oitavas distintas e com

frequências diferentes. No caso de um piano, que cobre um pouco mais de sete oitavas, isso significa que é possível reproduzir no mínimo 7 notas dó, 7 notas ré e assim com todas as outras notas, como representado na Figura 17.

Figura 17 – Representação das oitavas da nota dó, em um piano.



Fonte: Hewitt (2015, p. 393)

Na Figura 16 é possível observar 8 notas dó, onde cada letra C representa uma nota dó (é comum ao ler ou escrever "cifras" de músicas se usar as letras C, D, E, F, G, A, B, para representar as notas Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si, respectivamente). No caso da Figura 16 cada nota Dó possui uma frequência de vibração diferente, sendo o dó mais à esquerda com uma frequência de 32,70 Hz e o dó mais à direita com uma frequência de 4186,0 Hz.

Dessa forma, conclui-se que o dó mais a esquerda possui uma altura mais baixa (grave), enquanto o dó de maior frequência possui uma altura mais alta (aguda), em relação às outras notas dó do mesmo piano. Assim, de forma geral, o Dó uma oitava acima do dó terá como característica ser uma nota Dó mais aguda que a anterior, ou seja, com uma frequência maior que a nota dó uma oitava abaixo.

A escala musical é então composta de intervalos musicais, onde cada intervalo é definido pela distância entre um som e outro. Pitágoras descobriu o fato de que duas cordas semelhantes com a mesma tensão mas com comprimentos diferentes, quando tocadas juntas, criam um efeito agradável ao ouvido, desde que os comprimentos tenham como razão dois números inteiros pequenos, como descrito por Feynman, Leighton e Sands (2008). Se a razão dos comprimentos for de 1 para 2, então eles correspondem a uma oitava. Do ponto de vista da percepção do som e do sistema auditivo do ser humano, há uma limitação clara no que tange o espectro audível. Esse intervalo corresponde a frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz, sendo que abaixo de 20 Hz (infrassom) e acima de 20.000 Hz (ultrassom) o ouvido humano não consegue ouvir. Além dessa limitação natural, à medida que o ser humano vai envelhecendo, ele vai perdendo a capacidade de ouvir sons mais agudos.

3.1.6.1.1 Intensidade

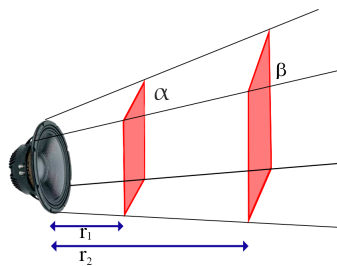
A intensidade sonora num aspecto musical pode ser descrita como a dinâmica de execução da música, sendo essa dinâmica a graduação da intensidade sonora durante a execução musical. Lacerda (1967) descreve numa escala crescente de intensidade essa graduação como sendo: bem pianissimo, pianissimo, piano, mezzo piano, mezzo forte, forte, fortíssimo e bem fortíssimo, sendo o trecho da música quando tocado com pouca intensidade classificado como piano e com muita intensidade classificado como forte.

Já sob uma perspectiva física, a intensidade pode ser definida como sendo a potência por unidade de área transportada pela onda, sendo representada matematicamente pela equação 3.20

$$I = \frac{P}{A} = \frac{Fv}{A} = pv \quad (3.20)$$

onde I é a intensidade, P a potência e A a área pela qual a onda se propaga, o produto da força F pela velocidade v , é definido como sendo a potência instantânea e p é a pressão. Se for considerado que a onda sonora se propaga de maneira esférica e que nenhuma energia se perde em forma de calor, sabe-se então que a energia da onda sonora vai se espalhando por uma área maior à medida que a mesma vai se distanciando da fonte, como ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Representação de uma onda sonora que se propaga pelo ar.



Fonte: Próprio autor

Sendo r_1 a distância entre a fonte sonora e a esfera α e r_2 a distância entre a fonte sonora e a esfera β , com ambas r_1 e r_2 sendo os raios das esferas α e β , respectivamente, e sabendo que a área da esfera pode ser calculada por $4\pi r^2$, é possível então encontrar uma equação que descreva o decréscimo dessa intensidade à medida que a onda sonora passa de α para β .

Como a potência é a mesma, logo:

$$P_1 = P_2 \quad (3.21)$$

Da equação 3.20 surge que:

$$P = I.A \quad (3.22)$$

Substituindo a equação (3.22) em (3.21), obtém-se:

$$I_1 4r_1^2 = I_2 4r_2^2 \quad (3.23)$$

Isolando I_2 na equação (3.23), a mesma resulta em:

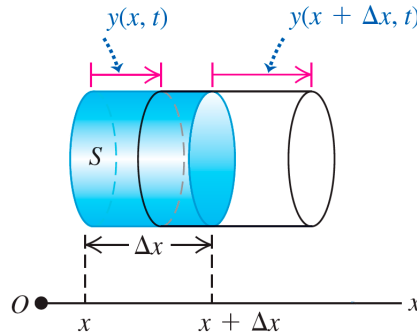
$$I_2 = I_1 \cdot \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \quad (3.24)$$

Esta equação indica que a intensidade da onda sonora vai diminuindo à medida que a onda se afasta da fonte, em uma relação do quadrado das distâncias r_1 por r_2 . Por exemplo, quando dobrar a distância a intensidade diminuirá em um quarto, quando se triplicar a distância a intensidade diminuirá em um nono e assim por diante. Isso explica por que o som é mais intenso perto da fonte.

É possível ainda utilizar a equação (3.20) para definir a intensidade uma onda sonora que se propaga em um meio qualquer, em termos do produto da variação de pressão pela velocidade. Para isso SEARS et al. (2015), usa inicialmente o conceito de flutuação de instantânea de pressão para cada posição x e tempo t .

A partir de um tubo contendo em seu interior um fluido qualquer, é possível determinar a relação entre o deslocamento de uma onda sonora $y(x, t)$ e sua flutuação de pressão $P(x, t)$ ao longo do seu eixo de propagação, como ilustra a Figura 19. Nessa representação, antes da passagem da onda sonora por esse tubo, o mesmo possui um volume que pode ser determinado pelo produto de sua seção transversal de área S e comprimento Δx , com eixo ao longo da direção de propagação.

Figura 19 – Variação de deslocamentos das frentes direita e esquerda do fluido em um tubo.



Fonte: Sears et al.(2015, p.155)

Com a passagem de uma onda sonora pelo tubo, a extremidade do fluido que inicialmente ocupava a posição x , no instante t passa a ocupar a posição $y(x, t)$, já a extremidade que ocupava a posição $x + \Delta x$, passa a ocupar a posição $y(x + \Delta x, t)$. Com isso é possível observar que quando $y(x + \Delta x, t)$ for maior que $y(x, t)$, houve um acréscimo no volume do tubo e uma conseqüente diminuição da pressão, já quando $y(x, t)$ for maior que $y(x + \Delta x, t)$, houve então um decréscimo em seu volume e aumento da pressão. Quando $y(x, t) = y(x + \Delta x, t)$, não haverá variação no volume do tubo, nem flutuação de pressão, apenas o fluido é deslocado para a direita ou para a esquerda.

Pode-se calcular a variação do volume do tubo como sendo

$$\Delta V = Sy(x + \Delta x, t) - Sy(x, t) = S[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]. \quad (3.25)$$

Quando o comprimento do cilindro Δx tende a zero, a variação relativa de volume $\frac{dV}{V}$ (variação do volume dividido pelo volume inicial) por ser calculado por

$$\frac{dV}{V} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{S[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]}{S\Delta x} = \frac{\partial y(x, t)}{\partial x}. \quad (3.26)$$

Observa-se ainda que a flutuação de pressão é diretamente proporcional à variação de volume, sendo que as duas grandezas se relacionam através do seu módulo de compressão B , que é definido como sendo o quociente do negativo da flutuação de pressão por sua deformação volumétrica.

$$B = \frac{-P(x, t)}{\frac{dV}{V}}. \quad (3.27)$$

Substituindo a equação (3.26) na equação (3.27) e explicitando a flutuação de pressão, tem-se que

$$P(x, t) = -B \frac{\partial y(x, t)}{\partial x}. \quad (3.28)$$

Para determinar explicitamente o termo $\frac{\partial y(x, t)}{\partial x}$, basta calcular a derivada parcial da função de onda $y(x, t)$, sendo a mesma representada pela equação

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t). \quad (3.29)$$

onde A é o deslocamento máximo da partícula (amplitude), k é o número de onda associado ao comprimento de onda por

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (3.30)$$

e ω é a frequência angular, que pode ser relacionada com a frequência linear através da equação:

$$\omega = 2\pi f. \quad (3.31)$$

Calculando $\frac{\partial y(x, t)}{\partial x}$ para a equação (3.29) obtém-se

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = -kA \sin(kx - \omega t). \quad (3.32)$$

Substituindo a equação (3.32) na equação (3.28), surge a equação

$$P(x, t) = BkA \sin(kx - \omega t). \quad (3.33)$$

Como a equação (3.33) possui um produto de BkA por $\sin(kx - \omega t)$, observa-se que a flutuação de pressão máxima se dará quando o valor de $\sin(kx - \omega t)$ for igual a 1, podendo-se então determinar a flutuação de pressão máxima como sendo

$$P_{\text{máx}} = BkA. \quad (3.34)$$

Pode-se ainda determinar a velocidade da partícula $v_y(x, t)$, que é a velocidade da parte do meio ondulatório no instante t . Para isso basta derivar parcialmente a equação (3.29) em função do tempo, o que fornece:

$$v_y(x, t) = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = \omega A \sin(kx - \omega t). \quad (3.35)$$

Pode-se então determinar a intensidade de uma onda sonora, substituindo as equações (3.33) e (3.35) na equação (3.20), obtendo-se

$$I = [BkA \sin(kx - \omega t)][\omega A \sin(kx - \omega t)] = B\omega k A^2 \sin^2(kx - \omega t). \quad (3.36)$$

SEARS et al. (2015) define a intensidade como sendo o valor médio da potência por unidade de área. Como o valor médio da função $\sin^2(kx - \omega t)$ ao longo de um período $T = \frac{2\pi}{\omega}$ é igual a $\frac{1}{2}$, logo:

$$I = \frac{1}{2} B\omega k A^2. \quad (3.37)$$

Considerando que $k = \frac{\omega}{v}$ e que a velocidade de uma onda longitudinal em um fluido pode ser escrita a partir do módulo de compressão B do fluido e de sua densidade ρ , como $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$, substituindo então ambos os termos na equação (3.37), obtém-se a equação

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\rho B} \omega^2 A^2. \quad (3.38)$$

Pode-se ainda determinar a intensidade em função da amplitude da pressão $P_{máx}$ substituindo-se a equação (3.34)

$$I = \frac{P_{máx}^2}{2} \sqrt{\rho B}. \quad (3.39)$$

No que tange o sistema auditivo humano e a representação da intensidade sonora percebida por este, Paul G. Hewitt traz a seguinte informação:

O ouvido humano reage a intensidades que abrangem uma faixa enorme, desde $1 \times 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ (o limiar da audição) até mais de $1 \frac{W}{m^2}$ (o limiar da dor). Como esta faixa de valores é muito grande, utilizam-se escalas de potências de dez para as intensidades, em que a intensidade dificilmente audível de $1 \times 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ é tomada como a intensidade de referência e chamada de 0 bel (uma unidade que homenageia Alexandre Graham Bell). Um som dez vezes mais intenso que este tem uma intensidade de 1 bel ($1 \times 10^{-11} \frac{W}{m^2}$) ou 10 decibels. (HEWITT, 2015, pg-394).

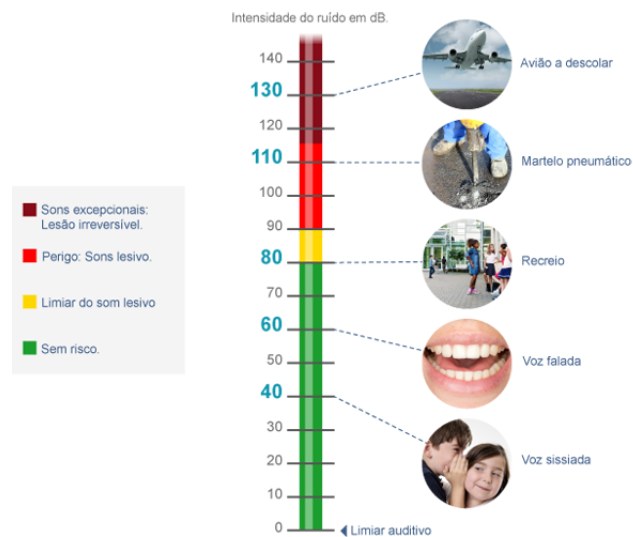
Dessa forma, segue que se 10 dB (decibels) é 10 vezes maior que 0 dB, logo 20 dB (decibels) será 100 vezes maior que 0 dB. Sendo assim, como o ouvido humano é sensível a uma escala muito grande de intensidades, adota-se uma escala logarítmica para sua representação, conhecida como nível de intensidade sonora. Essa grandeza pode ser expressa pela equação abaixo, onde o decibel não é uma unidade de medida, mas sim uma escala:

$$\beta = (10dB) \log \frac{I}{I_0}. \quad (3.40)$$

Onde I é a intensidade sonora, I_0 a intensidade de referência, \log é o logaritmo de base 10 e β é o nível da intensidade sonora. (SEARS et al., 2015)

Outro aspecto importante trata da diferenciação entre intensidade e volume do som. Como descrito por Hewitt (2015), a intensidade do som é algo puramente objetivo e que pode ser medido por diversos instrumentos, como por exemplo o osciloscópio. Já o volume é uma sensação fisiológica. O autor ainda descreve que sons mais agudos soam mais fortes do que sons mais graves com os mesmos decibels, ou seja, um som de 3500 Hz a 80 decibéis soará mais forte para a maioria das pessoas do que um som de 125 Hz aos mesmos 80 decibéis. A figura 20 ilustra a intensidade do som e o que essa intensidade pode causar a saúde do ouvido humano.

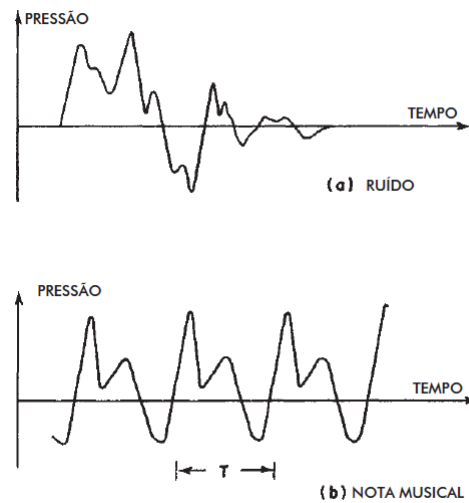
Figura 20 – Intensidade sonora e a saúde auditiva.



Fonte: Pujol (2018)

Dentre todos os sons que ouvimos existe um tipo particular chamado de ruído, que é definido por Feynman, Leighton e Sands (2008) como uma vibração irregular do tímpano que é produzida pela vibração irregular do objeto que a produziu na vizinhança. A música por sua vez pode ser caracterizada pela presença de tons musicais e diferencia-se do ruído pela periodicidade em seu gráfico da pressão do ar em função do tempo, como descrito na Figura 21.

Figura 21 – Espectro de um ruído comparado ao de uma nota musical.

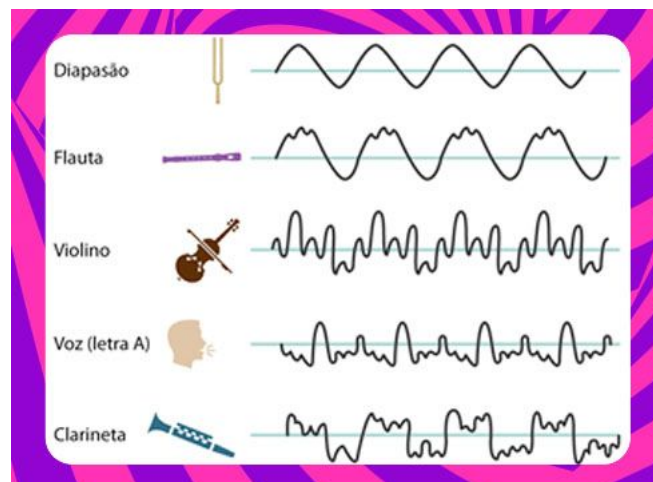


Fonte: Feynman et al. (2008, p. 50)

3.1.6.1.2 Timbre

O timbre é a propriedade do som que permite distinguir qual sua fonte geradora. É pelo timbre que se faz a diferenciação entre um Lá (440Hz) tocado por um contra-baixo, de um mesmo Lá (440Hz) produzido por uma flauta, por exemplo. Fernandes (2002) escreve que tecnicamente o timbre é a forma da onda associada à vibração sonora. Assim, um timbre particular tem origem em como os sons são formados, ou ainda, na superposição de sons com frequências diferentes, seja o som da frequência fundamental, que está associada à tonalidade, seja o som de frequências harmônicas múltiplas da fundamental. A Figura 22, ilustra a forma de onda do timbre de instrumentos diferentes.

Figura 22 – Instrumentos com suas formas de ondas características



Fonte: Explicae (2021)

O timbre pode ser relacionado com as diferenças que ainda somos capazes de ouvir entre duas notas de mesma sonoridade e afinação (altura), relacionando-se assim com a estrutura padrão que se repete, sendo que o som de cada instrumento diferente pode conter uma proporção distinta de harmônicos da frequência fundamental. No que tange a suas características, segundo Hewitt (2015) o timbre pode ser descrito como pesado, leve, sombrio e suave.

Paul Hewitt relata ainda como o matemático Joseph Fourier foi capaz de descobrir uma regularidade matemática para as partes que compõem um movimento ondulatório periódico como o som.

Ele descobriu que mesmo os movimentos ondulatórios periódicos mais complicados podem ser decompostos em simples ondas senoidais que se adicionam. Recorde-se de que uma onda senoidal é a mais simples de todas as ondas, possuindo uma única frequência. Fourier descobriu que todas as ondas periódicas podem ser decompostas em ondas senoidais constituintes com amplitudes e frequências próprias. A operação matemática para realizar tal decomposição chama-se análise de *Fourier*. (HEWITT, 2015, pg-398).

Com a análise de Fourier é possível então encontrar essas ondas senoidais, tons, que se somam na composição da nota de um instrumento particular, seja ele qual for. Assim é possível explicar e tratar matematicamente o timbre de um instrumento, ou seja, a partir da soma de diferentes ondas senoidais emitidas pelo mesmo.

4 Concepção e estrutura do produto educacional e metodologia de ensino

4.1 Os 3 momentos pedagógicos

Para a elaboração da sequência didática foi utilizada a metodologia dos 3 momentos pedagógicos, construída através dos trabalhos apresentados no livro Física de Demétrio Delizoicov e José André Angotti (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990). A opção por essa metodologia específica ocorreu pela forma com que a mesma pode ser aplicada no contexto da sala de aula, ou seja, na estruturação do conhecimento a partir de curiosidades comuns dos estudantes, permitindo ao professor através desta situação chave, fazer a transição de um conhecimento ou curiosidade no sentido de senso comum para o aprofundamento e construção do conhecimento científico sobre o mesmo tema. Nessa metodologia parte-se de conceitos do cotidiano e que são comuns aos alunos, sendo elevados em nível de reflexão e desenvolvimento de novos conceitos correlatos, culminando numa posterior aplicação em diferentes contextos, sempre com a orientação e facilitação do professor.

A dinâmica dos 3 MPs é definida por Delizoicov e Angotti (1990) da seguinte maneira:

Problematização Inicial: O ponto de partida inicial da proposta de ensino, sendo este o momento que será utilizado pelo professor para questionamentos e lançamento de dúvidas aos alunos sobre o conceito inicial que deseja ser abordado. É aqui que as questões ou situações reais de conhecimento dos alunos começam a ser envolvidas nos temas. É nesse momento em que os alunos são desafiados a explicar sobre o que pensam a respeito das situações levantadas, para que dessa maneira o professor consiga saber o que eles pensam a respeito dos temas. Um dos objetivos desse momento é propiciar uma reflexão crítica do aluno a respeito do tema, ao interpretar as situações propostas na discussão, fazendo assim com que o mesmo venha a sentir a necessidade de adquirir outros conhecimentos que eles ainda não detém, para dessa maneira ter a total compreensão do tema apresentado inicialmente. Sobre as questões levantadas nesse momento, os autores explicam que elas devem estar diretamente ligadas com o conteúdo que deseja ser estudado.

Organização do Conhecimento: Esse é o momento onde o professor usará de todo o seu cabedal metodológico para gerir e orientar a transição dos alunos, partindo do conhecimento de senso comum, discutido na problematização inicial, para se alcançar o conhecimento necessário para a construção e obtenção do conhecimento epistemológico acerca do tema trabalhado. Essa organização deve ser preparada e desenvolvida em função

dos objetivos definidos pelo professor, de acordo com as aulas necessárias para a realização do mesmo. Os autores aconselham que para esse momento o professor use as mais diversas atividades, como: exposição, experimentos, discussões, etc.

Aplicação do Conhecimento: É nesse momento onde o professor irá, através de ferramentas sistemáticas, investigar quais os conhecimentos o aluno foi capaz de incorporar ao longo da proposta de ensino. É aqui que o professor conseguirá através de uma abordagem sistemática observar melhor quais os conhecimentos que foram incorporados pelo aluno, quais ele consegue utilizar para a análise e interpretação do tema relacionados à situação inicial e quais ele por algum motivo não foi capaz de assimilar.

O que se pretende com esse momento, segundo os autores, é capacitar os alunos à aplicação do conhecimento, para que possam relacionar as situações reais com conceitualização científica, ao invés do que meramente encontrar uma solução e aplicar algoritmos matemáticos.

4.2 Concepção e estrutura

A concepção desse produto educacional para o ensino de conceitos de Física, parte da ideia: O que eu posso fazer para que minhas aulas sejam mais atrativas e eu consiga despertar a atenção e o interesse dos alunos para o que eu estou ensinando. Diante dessa ideia é de que Moreira (2018) aponta alguns pontos que demonstram a crise atual que ensino de física no Brasil está passando, sendo alguns desses pontos, a redução da carga horária, a falta de laboratórios, a pouca utilização das TEDs (Tecnologias educacionais digitais) ou ainda o mal uso das mesmas, além do ensino preparatório para a testagem, onde os alunos são preparados para passar em testes.

Dessa forma, foi concebido um produto educacional o qual consiste em uma sequência didática, que busca através de ferramentas diversificadas, suprimir os problemas apontados no parágrafo anterior.

Na criação da sequência didática, optou-se por trabalhar com ferramentas que auxiliem na aprendizagem ativa dos estudantes, como o uso de simuladores e instrumentos musicais, a realização de um experimento prático e uma avaliação, no modelo prova escrita.

O uso de tais ferramentas é justificado por suas potencialidades no ensino e pela maneira como são capazes de integrar o aluno com o fenômeno estudado, fazendo com que os mesmos venham a participar com maior interesse das atividades práticas problematizadas, reflexões e discussões conceituais, além de elaboração de construções visuais dos conteúdos trabalhados.

Para trabalhar o tema em questão adotou-se a metodologia dos 3 MPs, a qual permite um aprofundamento conceitual a partir de um problema/questão inicial envolvendo

os conhecimentos prévios dos alunos. Essa abordagem torna mais fácil e preciso o planejamento para a sequência de aulas, além de relacioná-las entre si, conectando em termos de significado conceitual ou contextual a primeira parte de cada aula, ou encontro, com a última parte do encontro anterior.

A escolha dessa metodologia pode ser justificada, dentre outros motivos, pela sua flexibilidade, pois pode ser adaptada a diferentes contextos e temas, permitindo que o professor tenha liberdade para criar situações-problema que sejam relevantes e interessantes para os alunos.

Outro motivo é o fato da metodologia ser baseada na ideia de que os alunos aprendem melhor quando são desafiados a resolver problemas reais, em vez de apenas receber informações de forma passiva. Isso faz com que a sequência seja planejada para que os alunos, através da visualização concreta ou virtual dos fenômenos, possam assimilar os conceitos essenciais para o entendimento daquilo que está sendo estudado.

Acerca dos conceitos a serem trabalhados no produto educacional, a escolha ocorreu a partir de uma prospecção sobre os conceitos físicos relacionados ao som que se manifestam em um contexto musical.

Após essa breve discussão sobre a motivação da concepção do produto educacional, as Tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam a estruturação da sequência didática, explicitando cada um dos encontros, em termos dos conceitos a serem trabalhados, identificação dos momentos pedagógicos e quais os objetivos a serem alcançados.

A seguir será realizada uma descrição de cada uma das aulas que compõem a sequência didática, indicando a dinâmica, o tempo necessário e o tipo de abordagem a ser realizada, além da justificativa de cada atividade, avaliação ou instrumento didático utilizado. A fim de organizar o texto, os encontros/aulas foram divididos em termos dos distintos momentos pedagógicos identificados.

Tabela 1 – Estruturação da sequência didática

	Momento Pedagógico	Conteúdo	Objetivos de ensino
Encontro 1 Aula 1	1° e 2°	<ul style="list-style-type: none"> • Classificação de Instrumentos musicais em famílias; • Ritmo; • Ondas; • Classificação das ondas de acordo com a direção de vibração; • Ondas transversais e longitudinais; • Ondas mecânicas; • O som como sendo uma onda mecânica; • Classificação das ondas de acordo com a direção de propagação; • Ondas se propagando e 1, 2 e 3 dimensões; • Onda periódicas; • Cristas e vales; • Comprimento de onda; • Amplitude; • Intensidade do som. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar a diferença de como o som é produzido em um instrumento de cordas, sopro e percussão. • Apresentar o som como uma onda mecânica, que pertence a uma onda do tipo longitudinal que se propaga em três dimensões. • Indicar que o som é uma onda composta de zonas de compressão e rarefação.

Fonte: O Próprio autor.

Tabela 2 – Estruturação da sequência didática

	Momento Pedagógico	Conteúdo	Objetivos de ensino
Encontro 2 Aula 2	2º	<ul style="list-style-type: none"> • Amplitude; • Intensidade do som; • Período de oscilação de uma onda. • Frequência de uma onda; • Relação entre período e frequência de oscilação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Relacionar a ideia de intensidade do som com o conceito de amplitude de uma onda; • Fortalecer o conceito de amplitude de uma onda estudado na aula anterior; • Definir intensidade sonora a partir de uma perspectiva física; • Demonstrar o período de uma onda através de uma simulação computacional; • Definir período e frequência; • Descrever a relação do período com a frequência; • Definir o campo auditivo do ser humano e como isso se relaciona com a frequência de um som.

Fonte: O Próprio autor.

Tabela 3 – Estruturação da sequência didática

	Momento Pedagógico	Conteúdo	Objetivos de ensino
Encontro 3 Aula 2	2°	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de propagação de uma onda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar a equação da velocidade de uma onda.
Encontro 4 Aula 3	2° e 3°	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas estacionárias; • Velocidade de uma onda estacionária; • Altura (frequência); • Relação entre velocidade de propagação e tensão em uma corda; • Relação entre velocidade de propagação e comprimento de uma corda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definir o que é uma onda estacionária; • Mostrar como calcular a velocidade de propagação de uma onda estacionária; • Entender o que é uma nota musical do ponto de vista físico; • Relacionar as notas musicais (frequência) com a tensão, comprimento e densidade da corda; • Reforçar o conceito por trás das relações entre velocidade, frequência, densidade da corda e tensão. • Realizar medidas de frequência variando a tensão na corda; • Realizar medidas de frequência variando o comprimento da corda; • Construção e análise gráfica dos dados obtidos com o experimento.

Tabela 4 – Estruturação da sequência didática

	Momento Pedagógico	Conteúdo	Objetivos
Encontro 5 Aula 3	2° e 3°	<ul style="list-style-type: none"> • Harmônicos; • Timbre; • Avaliação em forma de questionário 	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar o timbre como sendo uma diferença de “qualidade sonora” característica de cada instrumento; • Relembrar o que são os harmônicos e como eles formam as notas musicais de cada instrumento musical; • Utilizar uma avaliação escrita como forma de avaliação;

Fonte: O Próprio autor.

4.3 Encontro 1/ Aula 1 (*Período estimado: 90 minutos*)

1° momento pedagógico (*problematização inicial*)

A primeira aula inicia-se com uma abordagem sobre os instrumentos musicais que os alunos conhecem, junto com uma apresentação de um instrumento de cada família (cordas, sopro e percussão). O objetivo dessa abordagem é sondar os conhecimentos prévios dos alunos sobre instrumentos musicais, além de conhecer sua realidade e identificar possíveis relações e experiências destes com o conteúdo a ser estudado. Essa abordagem a partir do conhecimento prévio dos alunos se justifica, uma vez que o restante da sequência será desenvolvida sobre essa base contextual. Segundo Moreira (2018), as primeiras situações devem integrar o contexto do aluno e novas situações devem ser introduzidas em níveis crescentes de complexidade. Ensinar sem usar situações que façam sentido para os alunos é uma falha bastante comum no ensino de Física.

Além disso, essa etapa da aula serve como um estímulo, procurando mostrar ao aluno que aquele conhecimento que será estudado não parte apenas de teorias físicas abstratas escritas em um livro didático que eles devem decorar para passarem em alguma prova. Pelo contrário, a teoria surge do estudo de um fenômeno do mundo real, que neste caso pode estar associado a uma situação corriqueira, como o simples som de uma corda de violão vibrando ao ser tocada.

Após a exposição de uma lista com alguns instrumentos musicais, é apresentada uma pergunta inicial fundamental para a sequência: Quais características os instrumentos possuem em comum? O objetivo dessa etapa é ilustrar que todos eles têm a capacidade de produzir som (música), entretanto, cada “família” de instrumentos produz um som à sua maneira e com diferentes características.

2º momento pedagógico (*organização do conhecimento*):

Na etapa de organização do conhecimento, e partindo do conhecimento prévio dos alunos, o professor poderá iniciar uma discussão sobre o que os instrumentos musicais que foram classificados em famílias anteriormente possuem em comum.

A resposta esperada é que todos emitem som ou servem para executar sons. Com isso o professor pode partir para a pergunta fundamental: O que é o som? Aqui ele deverá mostrar aos alunos, com o auxílio da simulação [Waves Intro](#), que o som é uma Onda e classificá-la como uma onda longitudinal e tridimensional, mostrando que a mesma é composta por zonas de compressão e rarefação. Essa etapa é importante, uma vez que geralmente quando se fala em ondas, a concepção mais comum que surge entre os alunos é a de uma onda transversal.

Além da simulação, o professor poderá usar de uma mola do tipo *slinky* ou um vídeo para que possa ilustrar de outra maneira a diferença entre uma onda longitudinal e uma onda transversal.

A escolha por diferentes métodos de abordagem dos conceitos trabalhados pode ser justificado pela complementação que existe entre ambos, uma vez que múltiplas possibilidades permitem uma análise com um outro ponto de vista, como citado por Medeiros, Medeiros (2002),

O ato educativo é por demais complexo para que o profissional da educação em Física possa optar por um único recurso pedagógico. O ato educativo deveria, ao contrário, ser focalizado de uma forma holística em múltiplas possibilidades trazidas pela realidade concreta, pela interação humana e, também, pelas simulações. (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002, pg-84).

A seguir, ainda com o uso da simulação, o professor fará a explicação dos conceitos de onda periódica, período, cristas e vales de uma onda longitudinal e transversal, comprimento de uma onda longitudinal e transversal, amplitude de uma onda e intensidade de um som.

O uso da simulação, neste e nos próximos encontros da sequência didática, é justificada pela possibilidade de visualização de conceitos abstratos de maneira atrativa, oportunizando e viabilizando a análise de um fenômeno real através da manipulação de controles, imagens e sons virtuais. Em muitos casos, essa se torna uma das únicas estratégias possíveis que permitem controlar com precisão parâmetros físicos associados a um fenômeno do mundo real e assim obter resultados que levem a relações mais gerais.

4.4 Encontro 2/ Aula 2 (*Período estimado: 45 minutos*)

2º momento pedagógico (*organização do conhecimento*):

O segundo encontro deverá servir para a consolidação dos conceitos de período, amplitude e intensidade do som. Neste encontro também será trabalhado o conceito de frequência de uma onda e a relação da mesma com o período. Para isso será usado novamente a simulação [Waves Intro](#), que auxiliará os alunos na assimilação desses conceitos sob uma perspectiva sensorial, visualizando e ouvindo uma onda sonora inicialmente sem se preocupar com sua definição formal e o uso de equações matemáticas.

4.5 Encontro 3/ Aula 2 (*Período estimado: 45 minutos*)

2º momento pedagógico (*organização do conhecimento*):

No encontro 3 o professor trabalhará inicialmente o conceito de velocidade de uma onda, fazendo com os alunos a medição da mesma na simulação [Waves Intro](#). Para isso o professor deverá medir a distância que um pulso de onda percorrerá e medir o tempo necessário para que a mesma percorra essa distância, definindo assim o conceito de velocidade. Logo após, o professor deve demonstrar aos alunos a equação da velocidade de uma onda usando para isso a definição de velocidade escalar média e a relação entre comprimento de onda, período e frequência. Para finalizar, o professor deve explicar aos alunos com o uso do simulador, que apesar de mudar a frequência da onda a sua velocidade irá permanecer constante, alterando apenas o seu comprimento. Deve também complementar sua explicação dizendo que para mudar a velocidade de propagação de uma onda seria necessário mudar o meio onde a mesma se propaga.

4.6 Encontro 4/ Aula 3 (*Período estimado: 90 minutos*)

2º momento pedagógico (*organização do conhecimento*):

Na aula 4, o professor deverá demonstrar aos alunos, a partir da equação da velocidade de uma onda que se propaga em uma corda presa a dois pontos fixos e outros argumentos físicos, a equação da frequência com dependência explícita do comprimento da corda e sua tensão. Essa equação se fará necessária para a atividade a seguir, onde os alunos irão manipular o instrumento arcaico e obter dados associados a esses parâmetros mencionados.

3º momento pedagógico (*aplicação do conhecimento*):

Nessa etapa os alunos serão divididos em grupos para utilizar um instrumento de corda arcaico, como o apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Instrumento arcaico que será utilizados pelos alunos



Fonte: O Próprio autor

Nessa atividade, irão produzir algum som no instrumento e, a partir de seus próprios celulares, medirão as diferentes frequências geradas. O uso do instrumento arcaico é importante nesta sequência de ensino porque permite que os alunos experimentem e visualizem conceitos físicos relacionados às ondas sonoras.

Ao tocar a corda e fazerem as respectivas medidas, os alunos podem observar como diferentes comprimentos na corda e tensões aplicadas na mesma afetam a frequência do som produzido. Isso permite que eles possam compreender a relação frequência/tensão e frequência/comprimento de uma forma prática e intuitiva, tornando a aprendizagem mais clara, significativa, completa e duradoura.

Além disso, a utilização de celulares também pode ser uma ferramenta útil no Ensino de Física, especialmente quando se trata de caracterização de ondas sonoras. Os alunos podem utilizar um aplicativo de afinação para medir e comparar as frequências de diferentes sons. Isso pode ser particularmente útil para estudar as relações que são o objeto de estudo desta aula. Assim, a combinação do uso do instrumento arcaico com o aplicativo de celulares pode proporcionar uma experiência mais completa e interativa para os alunos, permitindo que eles vejam, ouçam e sintam de forma direta os conceitos relacionados às ondas sonoras. Após a realização das medidas, o professor deverá coletar os dados com os grupos e, em seguida, com o auxílio de uma planilha eletrônica, analisá-los a partir de um gráfico, que deverá ser comparado com os “resultados desejados” obtidos através da equação demonstrada no início da aula.

4.7 Encontro 5/ Aula 4 (Período estimado: 90 minutos)

2º momento pedagógico (*organização do conhecimento*):

Na aula 4 serão trabalhados os conceitos de harmônicos e timbre. Para isso será utilizada a simulação [Fourier Construindo Ondas](#), bem como um barbante/corda para a ilustração dos harmônicos, nós e ventres.

Como mencionado anteriormente, a utilização de simulações é uma ferramenta importante no Ensino de Física, sendo que nesse caso possibilitará aos alunos que visualizem e interajam com conceitos abstratos e complexos, como o timbre, de uma maneira mais concreta e intuitiva. Além disso, as simulações podem ser utilizadas para mostrar como diferentes frequências afetam a forma da onda, como as ondas refletem e interferem entre si, entre outros aspectos.

Por outro lado, o uso de um barbante ou corda é uma forma prática e tangível de demonstrar conceitos físicos relacionados aos harmônicos de uma onda, que são frequências múltiplas da frequência fundamental, sendo a compreensão deles essencial para entender a natureza das ondas sonoras e outras ondas, além da compreensão acerca do conceito de timbre. O professor pode criar ondas em uma corda e mostrar como a frequência e a amplitude afetam a forma destas.

Sendo assim, o uso combinado da simulação com a corda permite que os alunos visualizem e experimentem conceitos abstratos de uma forma mais tangível e intuitiva, auxiliando assim na construção de estruturas conceituais mais sólidas e permanentes.

3º momento pedagógico (*aplicação do conhecimento*):

Para finalizar a sequência será realizada uma avaliação final escrita, sendo este também um instrumento importante que permitem aos alunos demonstrarem sua evolução ao longo do processo de ensino e aprendizagem, bem como seu domínio em relação aos conceitos abordados, ou ainda indicativos de fragilidades que poderão ser sanadas a posteriori. Ademais, a literatura tem mostrado que a utilização de mapas conceituais pode ser especialmente útil para ajudar os alunos a compreender a estrutura do conhecimento e a identificar os conceitos-chave em um determinado tópico, auxiliando na compreensão de determinados conceitos, bem como na consolidação e integração destes de forma mais significativa.

ortanto, o uso de mapas conceituais como instrumentos de avaliação implica uma postura que, para muitos, difere da usual. Na avaliação através de mapas conceituais a principal idéia é a de avaliar o que o aluno sabe em termos conceituais, isto é, como ele estrutura, hierarquiza, diferencia, relaciona, discrimina, integra, conceitos de uma determinada unidade de estudo, tópico, disciplina, etc. (MOREIRA, 2006, pg-19).

Busca-se assim, neste caso, usar os mapas conceituais para servirem como um complemento à avaliação escrita, procurando identificar conceitos que os alunos eventualmente tenham deixado de registrar em suas respostas escritas. Outro objetivo importante é identificar a qualidade e quantidade de conceitos por eles absorvidos durante a aplicação do produto educacional, além da relação e hierarquização destes.

5 Aplicação do produto educacional

Este capítulo traz um relato da aplicação do produto educacional, onde serão apresentadas as informações consideradas pertinentes pelo autor, possibilitando ao leitor que possa observar os pontos mais importantes da aplicação do mesmo.

No que tange à uma contextualização histórica e cronológica da concepção e aplicação do produto educacional, ressalta-se que este foi produzido ao longo do ano de 2020 e primeiro semestre de 2021, onde o mundo passava pela desgraça da pandemia do Coronavírus. Devido a situação sanitária pela qual estávamos passando e a todos os problemas subsequentes que impactaram na educação e na sociedade como um todo, o produto teve que ser ajustado por várias vezes diante da insegurança da inviabilidade de sua aplicação.

Após os ajustes realizados desde a concepção do produto, o mesmo foi aplicado na Segunda Série do Ensino Médio da Escola de Educação Básica Agar Alves Nunes, na cidade de Otacílio Costa, Santa Catarina, entre o dia 18 de outubro de 2021 e 6 de dezembro do mesmo ano. Nesse período os alunos já estavam de volta ao modelo de ensino 100% presencial, sendo que apenas os alunos que possuíam atestado médico permaneciam no modelo remoto, o que não era o caso de nenhum dos alunos da turma em questão.

Sendo assim, a sequência didática foi construída de maneira a fim de trabalhar em paralelo e de maneira conjunta Ondas e Música, com enfoque nos conceitos que são pertinentes a ambos, trazendo assim um elemento emocional, divertido e prazeroso para o ensino de Física, buscando com isso despertar a atenção dos alunos para o fenômeno estudado. A sequência pode ser trabalhada no formato tradicional de aulas, composta por duas horas aulas semanais, ou ainda em formato de oficinas, 5 aulas cada.

Para a construção da sequência foi utilizada a metodologia dos 3 MPs, descrita em detalhes no Capítulo 3. Para sua aplicação o planejamento inicial previa uma divisão em 4 encontros de 2 horas aulas cada (90 minutos), as quais seriam divididas em 3 momentos pedagógicos. No entanto, após algumas revisões nessas divisões, a aplicação da sequência aconteceu de acordo com a Tabela 5.

O primeiro momento é a construção da problematização inicial, partindo dos conhecimentos prévios dos alunos e ocorre no início do primeiro encontro. O segundo momento, que contempla partes do primeiro encontro, segundo encontro, terceiro encontro e o início dos encontros 4 e 5, é destinado a organização dos conhecimentos necessários para a compreensão do tema e da solução da problematização inicial.

Por fim, o terceiro momento é promovido no final do quarto encontro com a

Tabela 5 – Divisão da aplicação da sequência didática

Encontro/Momento Pedagógico	Aula	Dias	Duração
I, 1° e 2° Momentos	1	1	90 minutos
II, 2°Momento	1	2	45 minutos
III, 2°Momento	2	3	45 minutos
IV, 2° e 3° Momento	3	4	90 minutos
V, 3° Momento	4	5	90 minutos

Fonte:O Próprio autor.

realização do experimento e a discussão a respeito dos resultados dos mesmos e no final do quarto e último encontro, onde os conhecimentos obtidos pelos alunos são aplicados e então avaliados a partir de uma análise qualitativa/quantitativa.

Ao longo da sequência didática são abordados conceitos de Física ondulatória como: classificação de ondas em relação a sua natureza (mecânica), sua propagação (longitudinal, transversal ou mista), comprimento de onda, amplitude, frequência, período, velocidade de propagação, interferência e superposição de ondas.

Além disso, os conceitos de frequência/altura de uma onda sonora, ressonância, intensidade do nível sonoro e timbre foram abordados a partir de uma situação prática. Esses conceitos são abordados sempre que possível de forma paralela, a partir de uma perspectiva física e uma perspectiva musical. A seguir seguem a divisão, a descrição e demais detalhes de cada aula dentro da sequência didática.

5.1 Encontro 1- 1° Momento - Problematização Inicial/ Organização do conhecimento.

Descrição: A aula 1 iniciou-se com o professor expondo a sequência didática, os seus objetivos, e a metodologia de aplicação e avaliação da mesma. Após essa breve apresentação o professor realizou um questionamento oral sobre quais tipos de instrumentos musicais os alunos conhecem. A seguir, a partir das respostas obtidas, foi construído no quadro uma lista com todos os instrumentos mencionados.

A partir dessa lista foi feito outro questionamento, agora sobre quais características eles percebem em comum entre os diferentes instrumentos.A maior parte dos alunos respondeu que todos os instrumentos produzem som e que estes são usados na música.

O professor então questionou como cada instrumento é usado para que seja possível produzir os sons desejados. A partir das respostas dos alunos e com a participação destes, o professor construiu um infográfico sobre os instrumentos e suas “famílias” (cordas, sopro ou percussão). A Figura 24 ilustra um exemplo do infográfico que foi desenvolvido em conjunto com os alunos.

Figura 24 – Infográfico:Classificação dos instrumentos musicais.



Fonte: O próprio autor

2ª Parte Conteúdo:

Descrição:

Foi apresentado aos alunos uma escaleta, um violão e uma caixa de bateria. O objetivo desse contato foi o de sanar as possíveis dúvidas que poderiam ter surgido na construção do infográfico, como por exemplo o motivo dos instrumentos de corda não serem classificados como percussão. Para responder a essa pergunta, o professor tocou uma melodia simples em um violão, mostrando assim que os instrumentos de corda são instrumentos melódicos enquanto os percussivos como a bateria são rítmicos. Como forma alternativa para reforçar isso, o professor cantarolou a música “Noite Feliz” batucando na superfície do corpo do violão, mostrando assim que a melodia é a parte cantada e o ritmo seria a “batucada”, sem se aprofundar muito nos conceitos de melodia e ritmo.

Após a apresentação dos instrumentos o professor questionou mais uma vez os alunos a respeito de quais características os instrumentos apresentados têm em comum. Os alunos foram unânimes em responder que os instrumentos produzem som.

O professor complementou a pergunta inicial perguntando aos alunos o seguinte: O que é o som? Os alunos ficaram então em silêncio, sendo que após algum tempo o professor respondeu que o som era uma onda. Nesse momento os alunos se mostraram surpresos

com a resposta, então o professor fez outra pergunta: Que tipo de ondas vocês conhecem? A maioria respondeu as ondas do mar, então o professor discorreu um pouco sobre os tipos de ondas que podem ser encontradas no dia-a-dia. Nesse contexto, foram abordadas as ondas do mar, as ondas eletromagnéticas, que estão associadas aos smartphones, ao wi-fi e à própria luz, além das ondas mecânicas, como as ondas que se propagam na corda do violão, as ondas sísmicas presentes no movimento das placas tectônicas, entre outras.

A seguir, o professor iniciou as explicações sobre o que são ondas, quais suas características e como podem ser classificadas, discutindo que “De maneira geral é possível classificá-las em duas famílias diferentes, de acordo com o seu meio de propagação e com sua direção de propagação.

Para ilustrar essa parte da aula o professor mostrou aos alunos o vídeo [Tema 07 - O que são Ondas | Experimentos - Mola Slink: ondas transversais e longitudinais](#), no qual é ilustrado com o uso de uma mola a diferença entre uma onda transversal e uma longitudinal com o uso de uma mola.

Após mostrar o vídeo o professor retomou, fazendo pequenas pausas a fim de reforçar os conceitos de onda transversal e longitudinal apresentados no vídeo. O professor ainda chamou a atenção dos alunos, para que eles percebessem, que ao se tocar a corda de um violão, surgem dois tipos de ondas, a *transversal*, que está associada ao movimento da própria corda e a *longitudinal* que refere-se ao movimento das partículas de ar no entorno da corda, e que são responsáveis pelas ondas sonoras que chegam até nossos ouvidos.

Na sequência as ondas foram discutidas em termos das possíveis direções de propagação, onde o professor cita, como exemplo para uma propagação unidimensional, uma onda em uma corda que só se propaga para frente e para trás. Como exemplo de propagação bidimensional uma onda que se propaga na superfície da água e, por fim, uma propagação tridimensional, cujo exemplo citado é uma onda sonora dentro da sala de aula. Para demonstrar isso, o professor sobe em uma cadeira e fala com os alunos, mostrando que todos, independente de sua posição, são capazes de ouvi-lo, mesmo estando abaixo, a frente, atrás, à esquerda ou à direita dele.

3ª Parte

Descrição:

Após a explicação sobre o som ser um tipo de onda tridimensional, o professor


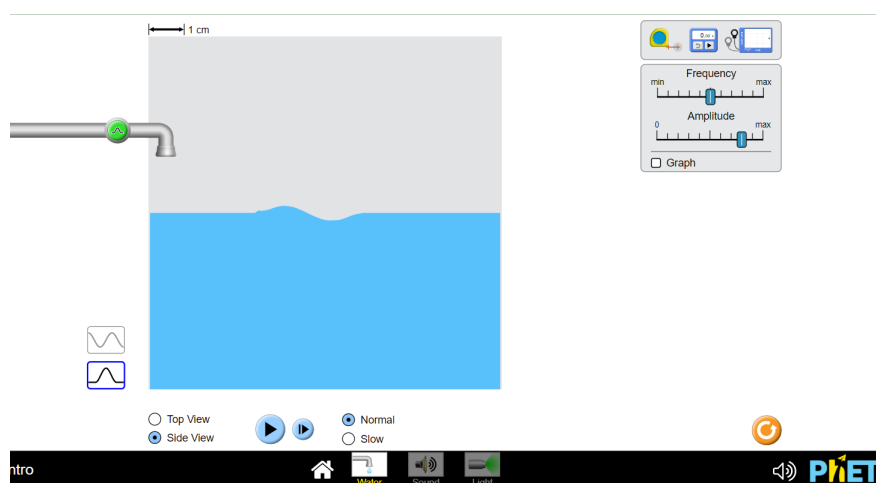

continua a abordagem a partir da utilização de um simulador virtual interativo disponível na página do projeto PhET Simulações Interativas da Universidade do Colorado em Waves Intro, disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_en.html. No simulador, o primeiro conceito trabalhado é o de um pulso de onda. Para tanto o professor seleciona a opção pulso de onda na simulação, a qual é representada na simulação pelo ícone  com essa opção, a simulação deverá apresentar um pulso de onda como mostrado na figura 25.

Figura 25 – Vista superior da simulação mostrando um pulso de uma onda transversal



Fonte: O próprio autor

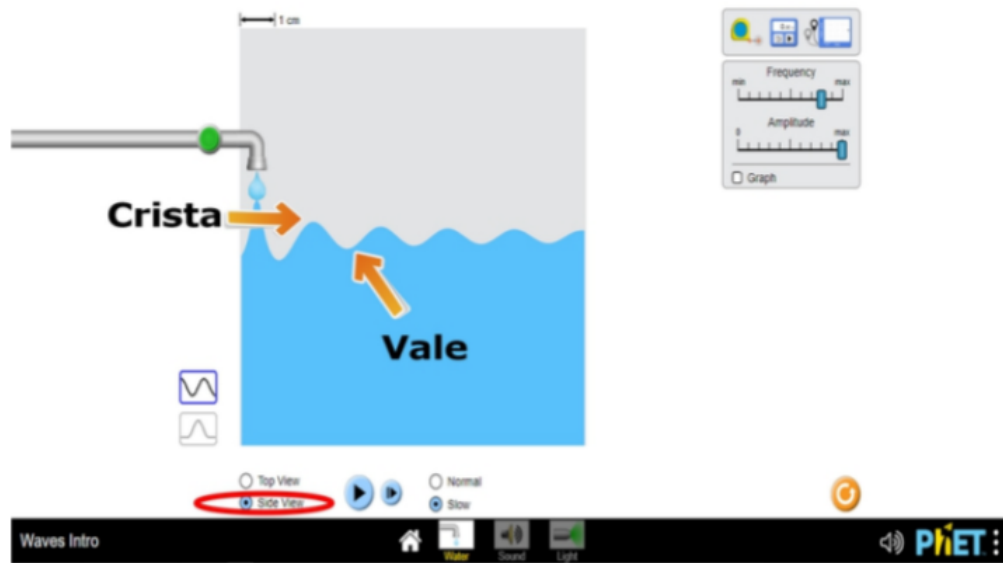
A seguir, o professor aciona o ícone e faz com que uma gota caia sobre uma a superfície de água, fazendo com que um pulso de onda comece a se propagar. O professor orienta os alunos mostrando que o pulso é apenas “uma linha clara e escura se propagando na simulação”. Já uma onda seria a representação de repetições de um pulso de onda. A qual é acionada usando o ícone .

Com a onda ativa na simulação e usando a visão lateral, como mostra a Figura 26, o professor mostra aos alunos que a onda possui um ponto mais alto qual é chamado de pico ou crista e o ponto mais baixo é chamado de vale.

O professor então retorna a visualização da simulação para uma visão de cima da superfície da água, como mostra a Figura 27, e identifica com os alunos o ponto mais escuro como sendo o vale e o ponto mais claro como sendo a crista.

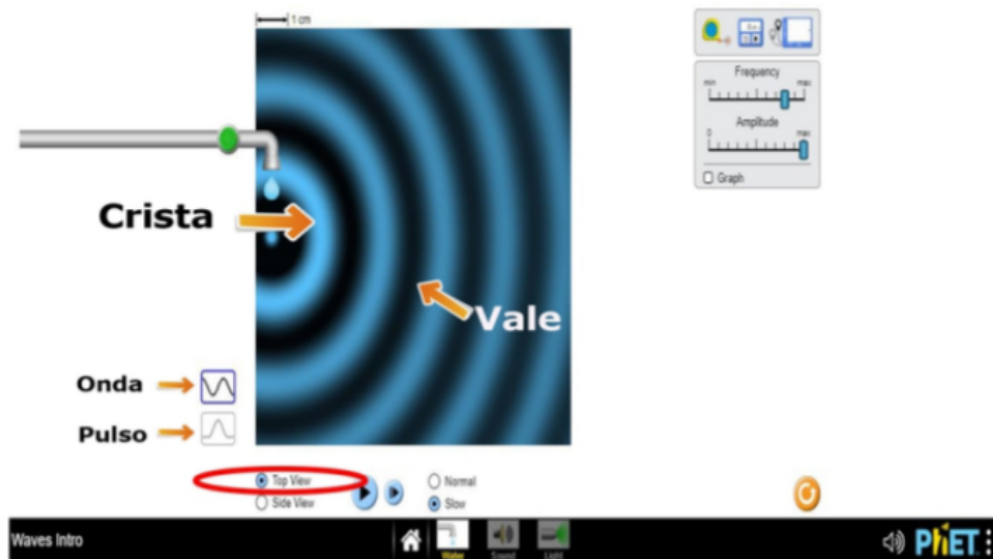
A seguir, o professor muda a simulação para a aba Som, fazendo a mesma discussão sobre pulso e onda realizada anteriormente, entretanto, com a diferença que agora é o alto falante que vai para frente e para trás, fazendo com que algo comece a vibrar. Nesse contexto, o professor pergunta aos alunos: O que está vibrando? Como os alunos não conseguem responder, o professor então aciona o ícone “Both”, fazendo com que a simulação comece a mostrar agora linhas mais claras e escuras junto com algumas

Figura 26 – Vista lateral da simulação mostrando a crista e o vale da onda.



Fonte: O próprio autor

Figura 27 – Vista superior da simulação mostrando a crista e o vale da onda.

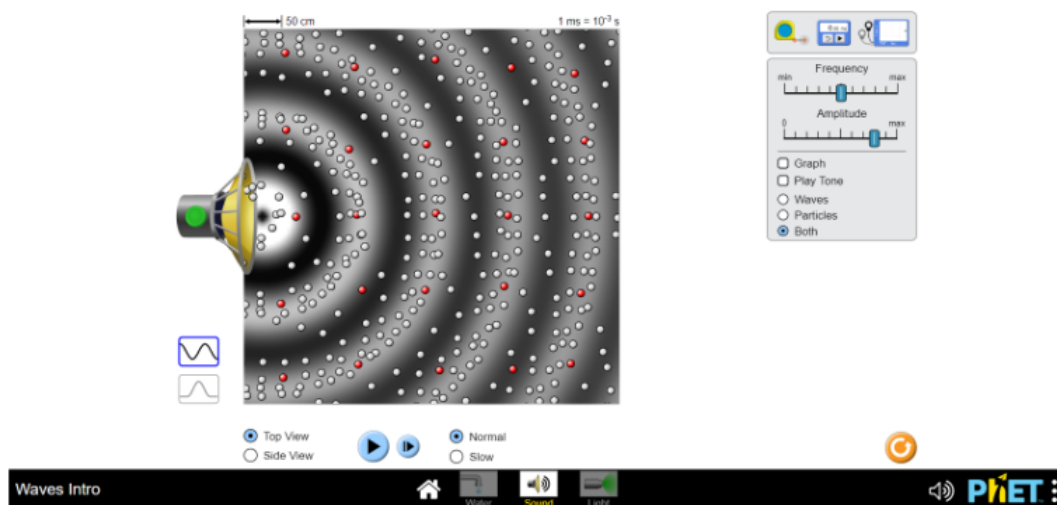


Fonte: O próprio autor

“bolinhas”, ilustrando regiões de maior ou menor compressão, respectivamente, como mostra a Figura 28.

O professor então questionou os alunos sobre o que seriam essas “bolinhas” que apareceram na simulação, entretanto, os mesmos não se manifestaram, de modo que o professor teve que explicar diretamente que as bolinhas simulam as partículas de ar, as quais encontram-se no entorno do alto-falante e passam a vibrar com a movimentação deste.

Figura 28 – Vista superior da simulação mostrando a crista e o vale da onda com a função both.



Fonte: O próprio autor

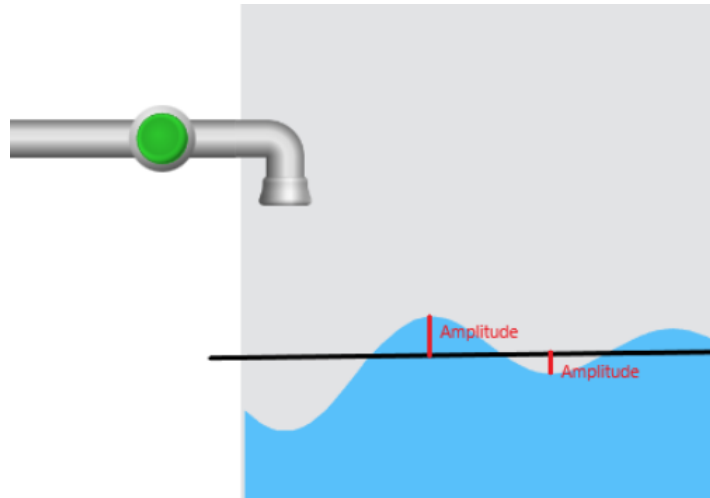
Após essa explicação a visualização da simulação foi alterada para uma visão lateral, entretanto, antes dessa alteração, os alunos foram questionados se haveria alguma mudança na visualização, quando isso fosse realizado. A aluna L responde que não. Os alunos foram então questionados por que na simulação da onda na água era possível ver uma mudança e na do som não? A aluna L responde que isso aconteceu porque não conseguimos ver o ar. O professor complementou a resposta falando que apesar de não podermos ver o ar no mundo real, na simulação é possível ver as partículas que compõem o ar, e que apesar disso, veríamos o mesmo perfil de onda sonora sob qualquer ângulo de observação, uma vez que nesse caso trata-se de uma onda se propagando tridimensionalmente. A seguir, o professor chamou a atenção dos alunos para que eles notassem que tanto na simulação da onda na água como na simulação da onda no ar (som), os pulsos geradores da onda se repetem em períodos de tempos iguais, e que ondas desse tipo são chamadas de ondas periódicas.

Logo após, o professor usou a simulação da água, com sua visão lateral para explicar o conceito de amplitude, mostrando que a amplitude é definida como a distância entre o ponto máximo (crista) ou o ponto mínimo (vale) da onda em relação ao seu ponto central, como mostra a Figura 29.

Já na simulação do som, a amplitude estaria relacionada graficamente ao quão mais intensas se apresentam as cores das cristas e vales da onda. Além disso, percebe-se pela própria simulação que ao se aumentar a amplitude o som fica mais intenso e quando diminuimos a amplitude o som fica menos intenso, conforme ilustrado na Figura 30.

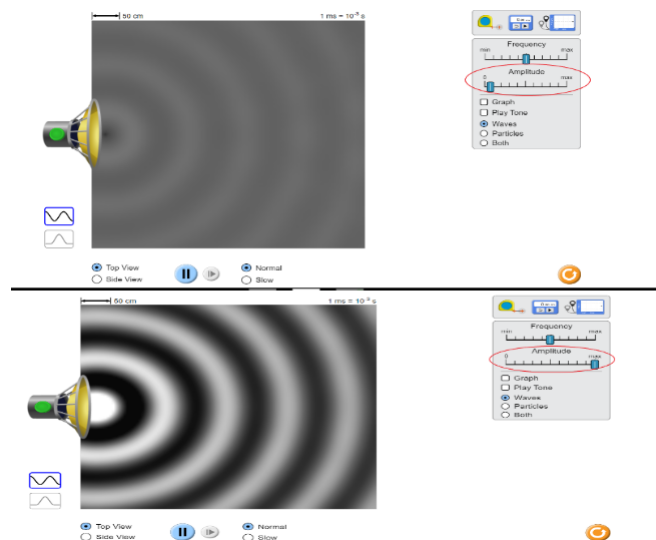
Após a explicação sobre a amplitude, os alunos foram questionados a respeito de quais seriam as regiões de maior ou menor pressão e se elas estariam relacionadas

Figura 29 – Amplitude da onda na simulação de uma onda que se propaga na água.



Fonte: O próprio autor

Figura 30 – Amplitudes da onda na simulação de uma onda sonora que se propaga no ar.



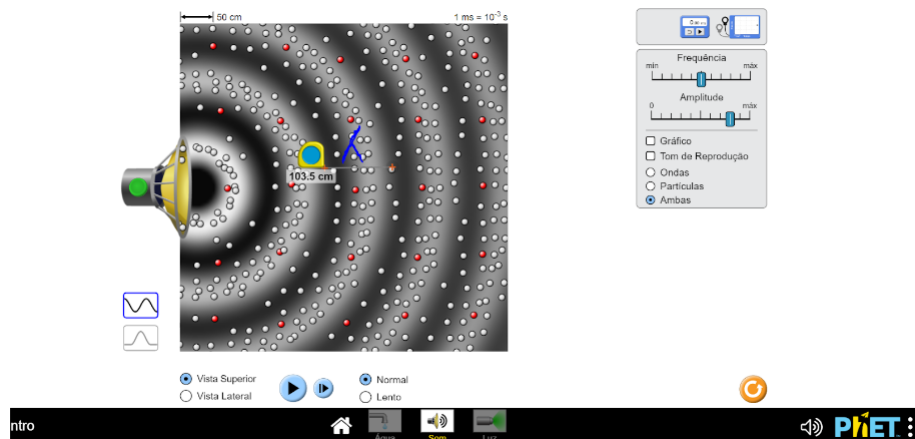
Fonte: O próprio autor

às regiões onde há um maior número de partículas (círculos claros) ou às regiões onde há um menor número de partículas (círculos escuros). A aluna “C” respondeu que a região de maior pressão seria nos círculos escuros, onde existem um menor número de partículas. O professor então lembrou com os alunos a definição de pressão, sendo esta igual ao quociente de força em relação a área. Sendo assim, nas regiões claras existem mais partículas se chocando, logo, haverá nessa região uma maior pressão. O professor ainda explicou que essas regiões são chamadas de zonas de compressão (maior pressão) ao passo que as regiões escuras seriam as zonas de rarefação (pouca pressão).

Terminado a explicação anterior o professor pegou na simulação a ferramenta “trena” para explicar o conceito de comprimento de onda. Para isso foi utilizado a trena e

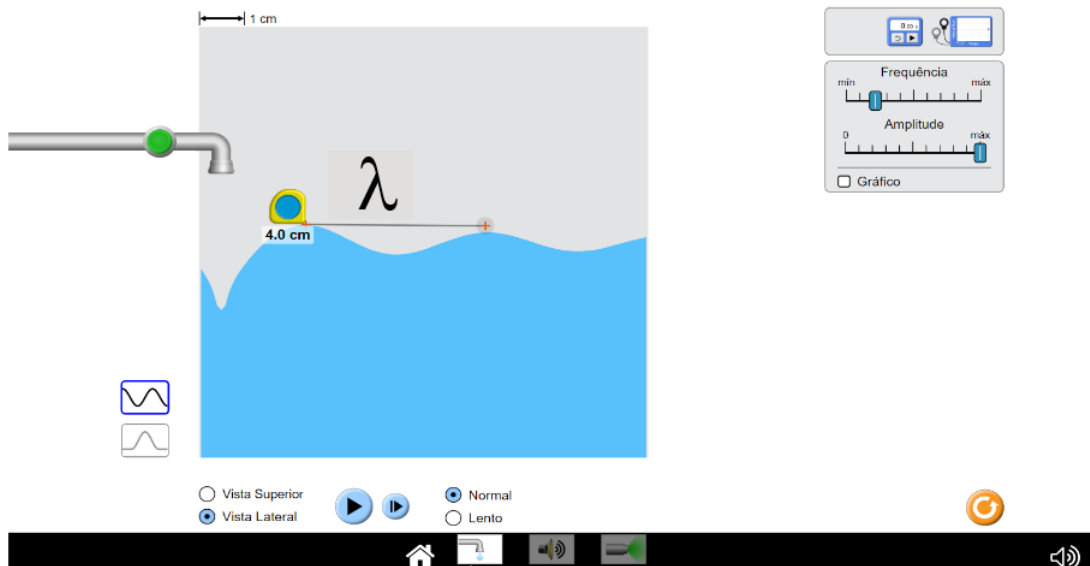
explicado que na simulação do som o comprimento de onda(λ) seria a distância entre duas frentes de onda conforme indica a Figura 31. A seguir, o mesmo procedimento foi realizado com a simulação da água, sendo o comprimento de onda definido como a distância entre duas cristas ou dois vales, conforme mostra a Figura 32. Com essa explicação foi finalizada a primeira aula.

Figura 31 – Medida do comprimento da onda sonora na simulação



Fonte: O próprio autor

Figura 32 – Medida do comprimento da onda que se propaga na superfície da água, na simulação



Fonte: O próprio autor

5.2 Encontro 2- 2º Momento - Organização do conhecimento.

Descrição:

No segundo encontro houve palestra nas duas primeiras aulas do dia, por isso a aula se iniciou às 09:30. A aula iniciou com o professor retomando alguns dos conceitos discutidos na aula passada, como a ideia de crista e vale de uma onda, comprimento de onda e amplitude. Ao falar especificamente sobre a amplitude, foi lembrado e salientado que à medida que ela era aumentada ou diminuída, o volume (intensidade) do som que era emitido pelos altos falantes, respectivamente, também aumentava ou diminuía, ilustrando assim que o volume do som está relacionado com a amplitude da onda que o produz.

Após essa breve revisão, o professor continuou com a mesma simulação utilizada para estudar ondas sonoras e passou a apresentar aos alunos uma outra propriedade da onda. Ele pediu para que os alunos acompanhassem na simulação o movimento de uma das partículas em cor vermelha, para que assim pudessem perceber que esta vai até um determinado ponto e depois retorna para o ponto do início do seu movimento. Feito isso o professor aciona a ferramenta cronômetro da própria simulação e pede para que os alunos marquem o intervalo de tempo para que a partícula saia de um ponto inicial qualquer e retorne para este mesmo ponto. A partir desse intervalo medido, o professor o define como sendo o período de oscilação da onda, ou seja, o intervalo de tempo que leva para a onda (representada pela partícula) completar um ciclo de oscilação inteiro.

A partir da definição de período, o professor passa para a explicação do conceito de frequência. Inicialmente é realizado um questionamento aos alunos sobre o que aconteceria com o período de uma onda ao aumentar a frequência desta no controle frequência da simulação. Alguns alunos responderam que o período iria aumentar e outros que o período iria diminuir, entretanto, sem justificativas satisfatórias para tais conclusões.

Em seguida, o professor realizou no simulador as medidas dos períodos associados a cada uma das frequências selecionadas, repetindo então a pergunta sobre o que aconteceu com o período ao aumentar a frequência da onda. Dessa vez todos os alunos responderam que o período diminuía, o que levou o professor a explicar que a frequência pode ser definida como, o quão rápido ou lento uma onda consegue completar uma oscilação completa.

A seguir, o professor formalizou a definição de frequência relacionando-a com o período, sendo a frequência o inverso do período. Assim, ao aumentar o período de oscilação de uma onda resulta na diminuição de sua e vice-versa.

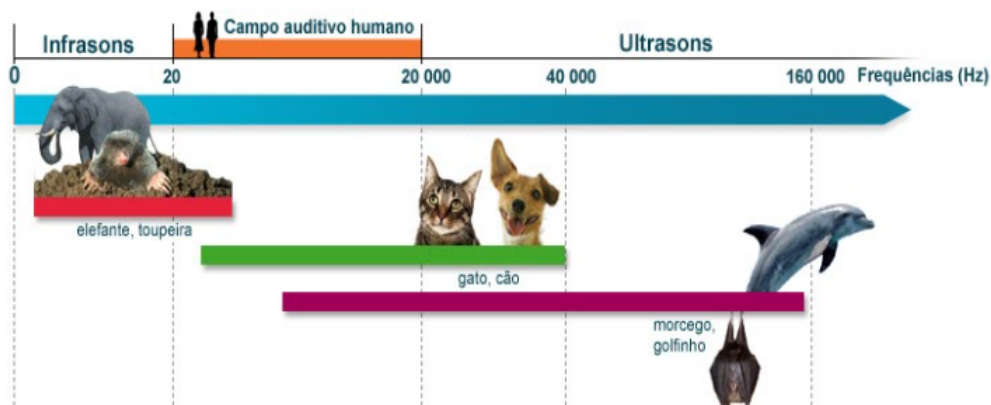
Após a definição de período e frequência sob uma perspectiva física, o professor passou a uma análise dessas mesmas grandezas sob a perspectiva sonora/musical. Para consolidar essa abordagem, o professor utilizou um gerador de tom virtual disponível em [Gerador de Tom](#), a fim de discutir com os alunos o que acontece com o som, em termos de

características sensoriais, ao variar sua frequência.

Primeiramente, o professor colocou o gerador de tom a funcionar numa frequência abaixo de 20 Hz e perguntou se os alunos estavam ouvindo algo, sendo que as respostas foram que não conseguiam ouvir nada. Em seguida, a frequência foi aumentada para que os alunos conseguissem ouvir o tom indo do mais grave (20 Hz) para o mais agudo (20 kHz), sendo que, ao ultrapassar os 20 kHz, o professor novamente questionou os alunos se alguém estava ouvindo algo. Novamente todos responderam que não.

No decorrer da aula o professor explicou aos alunos de maneira prática sobre o campo auditivo do ser humano, mostrando que estes são capazes de ouvir frequências entre 20 Hz e 20 kHz, e que com o passar dos anos eles vão deixando de ouvir os sons mais agudos. O professor também falou sobre o campo auditivo de outros animais, questionando os alunos se existem alguns animais que seriam capazes de ouvir esses sons abaixo de 20 Hz ou acima de 20 kHz. Para ilustrar a situação, o professor mostrou a Figura 33.

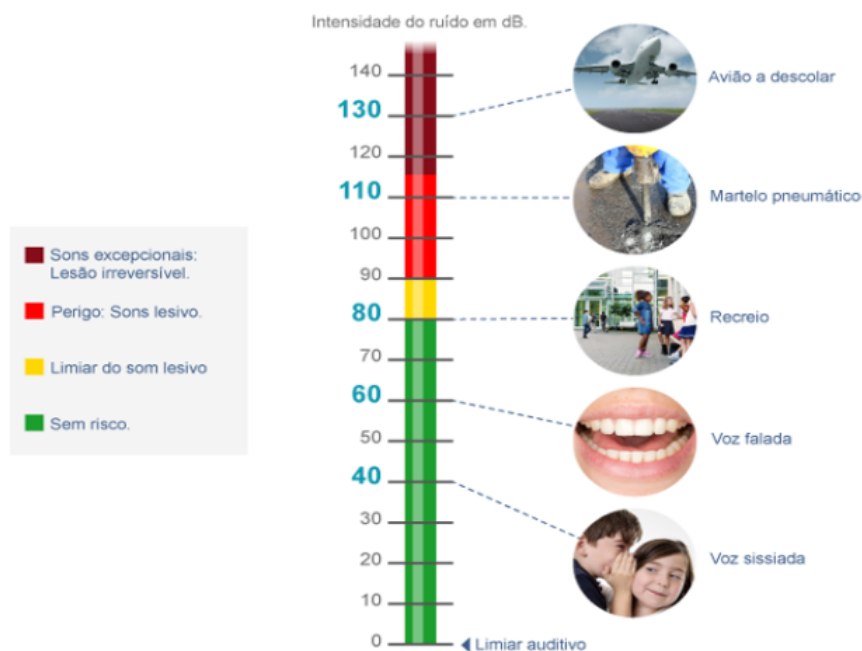
Figura 33 – Campo auditivo de alguns animais.



Fonte: Pujol (2018)

Após finalizar a abordagem acerca do campo auditivo, o professor questionou os alunos com a seguinte pergunta: Quem ouviria um som mais “forte”, alguém próximo ou distante de uma TV qualquer? Eles responderam unanimemente que seria a pessoa próxima à TV, pois como ela estaria mais perto da origem do som, ela conseqüentemente estaria “recebendo mais som”. O professor mostra então aos alunos que essa ideia de proximidade da fonte sonora está relacionada ao conceito de intensidade sonora, sendo que quanto mais próximo da fonte, mais intenso será o som, pois quanto mais perto da fonte, mais energia sonora está recebendo o ouvinte. O professor discutiu ainda as escalas e unidades dos níveis de intensidade sonora e o fato de ser utilizado o decibels ao invés do watts por metro quadrado (por ser esse último uma escala muito grande), além dos limites que passam a ser prejudiciais para o sistema auditivo humano, conforme ilustra a Figura 34.

Figura 34 – Níveis de intensidade sonora e suas causas fisiológicas.



Fonte: Pujol (2018)

Para finalizar a aula, o professor mencionou que, sob uma perspectiva musical, a intensidade sonora está relacionada com a força utilizada em um instrumento acústico para a emissão de uma nota, sendo que ela pode ser mais forte ou mais fraca dependendo do sentimento que o músico deseja transmitir ao executá-la.

5.3 Encontro 3- 2º Momento - Organização do conhecimento.

(Tempo estimado para o encontro: 45 minutos)

Descrição:

No terceiro encontro houve palestra novamente, nas duas primeiras aulas do dia, por isso a aula se iniciou às 09:30. O professor iniciou essa aula retomando o conceito de onda e pulso de onda, amplitude, comprimento, intensidade, frequência e período com o objetivo de auxiliar na assimilação destes através da simulação *Waves*, buscando assim, usar os conhecimentos prévios já adquiridos pelos alunos nos encontros anteriores. Nessa revisão o professor aproveita para dar enfoque, que ao se ativar a função onda no simulador, surge uma onda que tem vales e cristas sendo criados periodicamente e que essas ondas particulares são chamadas de ondas periódicas, sendo que nesses casos o período de oscilação de cada pulso que forma a onda possui um valor constante, reforçando

assim a ideia do som também ser uma onda periódica. O professor ainda faz a seguinte pergunta aos alunos: Seria possível realizar um show de rock no espaço e, se isso fosse possível, as pessoas presentes ouviriam o som dos instrumentos? Os alunos responderam unanimemente que não e então o professor os questiona acerca da resposta. A aluna C responde que é por causa da gravidade, dizendo que no espaço não existiria gravidade, já a aluna R responde que é por causa da atmosfera, que ela não deixa o som se propagar. O professor então explica então que se estivéssemos no espaço não teríamos o ar, com isso não teríamos um meio por onde o som pudesse se propagar, para auxiliar na explicação o professor usa o vídeo [Som no vácuo](#).

Em seguida, o professor pede para que os alunos marquem o tempo que leva na simulação para que duas cristas sucessivas passem pelo mesmo ponto na tela (cronometrando o período da onda nesse caso). Ele explica mais uma vez que a distância entre essas duas cristas é o comprimento da onda. O professor então questiona os alunos sobre que grandeza é representada pela distância sobre tempo, mas ninguém se manifesta. O professor então exemplifica com a seguinte situação: Uma pessoa leva 1 hora para percorrer 100 km, o que isso significa? A aluna R responde que a pessoa foi rápida. O professor pergunta então qual é a grandeza que está relacionada com a rapidez e a maioria da turma responde que é a velocidade. Para reforçar essa ideia, o professor faz uma breve revisão de que km é unidade de distância e h é unidade de tempo, logo a razão entre distância e tempo significa velocidade.

Como na simulação o movimento é periódico, então a velocidade é constante e que esta pode ser obtida a partir da distância percorrida pela crista ou vale da onda (que é o comprimento da onda), dividido pelo seu período de oscilação. Além disso, como o período é o inverso da frequência, também é possível escrever a velocidade de uma onda como o produto entre o comprimento de onda e a frequência.

Com essa definição realizada, o professor usa a simulação para mostrar aos alunos que ao se alterar a frequência de uma onda, a velocidade da mesma não é alterada, mas sim o seu comprimento. Dessa forma, é possível mostrar que o produto do comprimento de onda e da frequência permanece constante e que a velocidade de propagação do som só pode ser alterada se alterarmos outras propriedades do sistema, como por exemplo o meio de propagação da onda.

Para exemplificar uma maneira de mudar a velocidade do som, o professor explica que se colocássemos um ouvido no trilho de uma ferrovia e estivéssemos a uma distância considerável do trem, ouviríamos o som do trem se aproximando primeiro no ouvido que estivesse encostado no trilho, pois o trilho é um meio sólido e o som se propaga mais rápido em meios sólidos do que em meios gasosos como o ar.

5.4 Encontro 4- 2º e 3º Momento: Organização do conhecimento/Aplicação do conhecimento

Descrição:

No quarto encontro, o professor iniciou o encontro lembrando que é possível calcular a velocidade de propagação de uma onda através da equação que relaciona o comprimento com sua frequência, no entanto, para estudar o comportamento das ondas em algumas situações específicas, como ondas em uma corda com seus dois extremos fixos e, portanto, confinada entre esses dois extremos, a abordagem deve ser distinta.

Nesse momento o professor usou um barbante fixo na janela da sala em um das extremidades, como mostra a Figura 35, para mostrar aos alunos as ondas estacionárias, explicando que quando um pulso de onda é emitido nessa corda, com um movimento de baixo para cima de forma periódica, estes se movem com a mesma fase (crista para cima), até chegar na janela fixa. Quando isso ocorre, o os pulsos acabam sendo refletidos pela parede com a mesma amplitude e comprimento entre um e outro, mas com a fase contrária (crista para baixo). *Observação: A Figura 34 foi editada para uma melhor visualização do barbante.*

Figura 35 – Ondas estacionárias em um barbante



Fonte: Próprio autor

Sacudindo a corda de maneira periódica para cima e para baixo, é possível fazer com que as ondas incidentes e refletidas na parede se sobreponham para formar uma onda estacionária, em que algumas partes da corda, denominadas nodos (nós), são estacionárias. Os nodos são aquelas regiões onde o deslocamento e a energia é mínimo ou nulo. Já os antinodos são aquelas regiões onde o deslocamento e a energia são máximos).

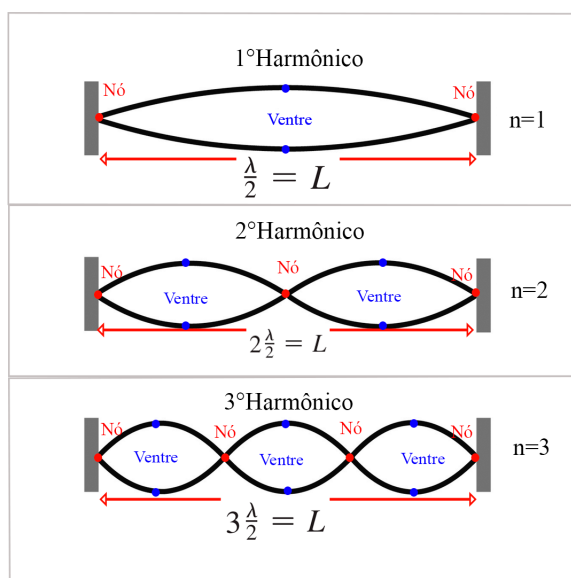
Em seguida, o professor com o uso do barbante faz uma onda de modo fundamental ou primeiro harmônico, explicando aos alunos que na música, quando fazemos uma nota

musical, ela é composta da soma de vários desses harmônicos, sendo o harmônico de modo fundamental o responsável pelo nome da nota.

Continuando, o professor agora move o barbante de maneira a formar o segundo harmônico como já mostrado na Figura 35 e pergunta aos alunos quantos pontos no barbante estão imóveis. A aluna C responde que nenhum e a aluna B responde 3, um em cada extremidade e o do meio.

O professor relaciona então o comprimento da corda com o comprimento da onda em uma corda, conforme exemplificado na Figura 36. Lembrando com os alunos que o comprimento de uma onda pode ser determinado pela distância entre dois vales ou duas cristas, o professor oscila o barbante de modo a formar o primeiro harmônico e questiona aos alunos: Quantos ventres (vales/cristas) se formam na corda? Os alunos respondem um. O professor então relaciona o experimento do barbante com a Figura 36 e conclui com os alunos que no caso do exemplo de um ventre só, apesar de usarmos a corda toda, isso corresponderia a metade do comprimento da onda do primeiro harmônico.

Figura 36 – Harmônicos em uma corda com suas extremidades fixas e seus modos normais.

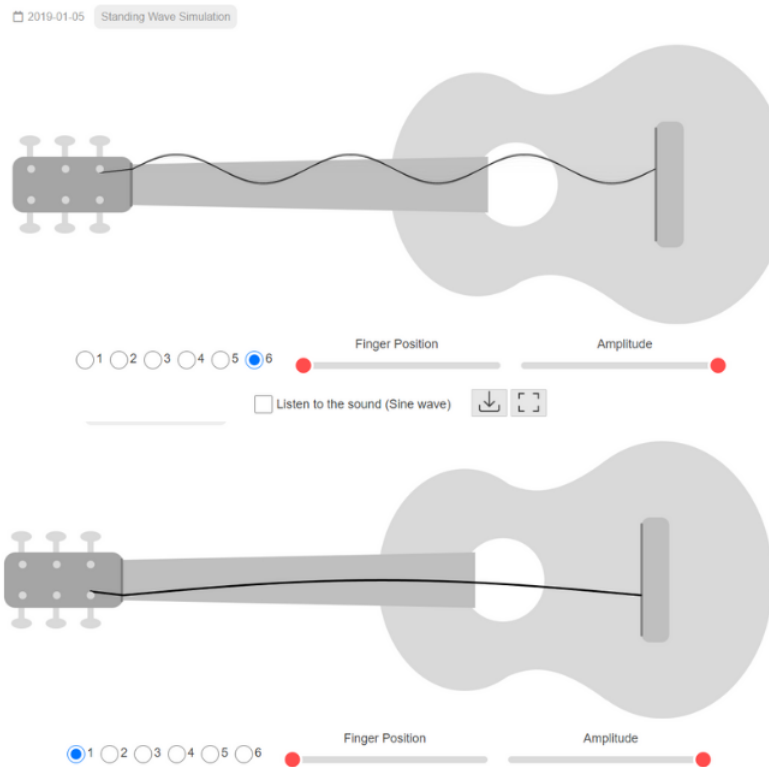


Fonte: Próprio autor

A seguir, o professor usa a simulação disponível no site [Standing Waves On a string](#) para mostrar aos alunos os harmônicos em uma corda de violão. Na simulação, são mostrados os diferentes harmônicos como ilustra a Figura 37, reforçando assim os conceitos apresentados anteriormente com o barbante.

Ainda na simulação, o professor mostra que ao diminuir o comprimento da onda aumentamos sua frequência, deixando o som mais agudo e vice-versa. Depois do uso

Figura 37 – Ondas estacionárias em um violão



Fonte: O próprio autor

da simulação, o professor então explica aos alunos que para calcular a velocidade de propagação de ondas estacionárias, como as que acontecem na corda de um violão, usamos a equação (5.1):

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (5.1)$$

Onde T é a força de tração/tensão na corda e μ é a densidade linear da corda. Ou seja, para mudarmos a velocidade de propagação de uma onda basta alterar a tensão na corda, e ou, sua densidade linear. No violão fazemos isso apertando ou afrouxando a corda ou ainda trocando a corda por uma mais espessa ou mais fina, com densidades distintas. Na sequência, o professor mostra equação que determina a velocidade de propagação de uma onda qualquer:

$$v = \lambda \cdot f. \quad (5.2)$$

Como já visto, no caso do primeiro harmônico, o comprimento da onda, λ , é igual a duas vezes o comprimento da corda ($2L$), ficando então a fórmula da velocidade como :

$$v = 2L \cdot f. \quad (5.3)$$

Relacionando a equação da velocidade de propagação de uma onda (5.3) com a equação da velocidade de propagação de uma onda estacionária em uma corda fixa (5.1), o professor chega a equação (5.4), que relaciona a frequência com a tensão e o comprimento da corda:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (5.4)$$

que é o objeto de estudo do experimento usando o instrumento arcaico. Em seguida, o professor explicou o que são as notas musicais sob uma perspectiva física, ou seja, relacionando com o conceito de altura/frequência. Com o auxílio de um violão, explicou aos alunos como é possível obter as notas e como se faz para podermos alterar a sua altura, ou seja a nota executada, seja alterando o comprimento da corda ou alterando sua tensão. Com isso eles conseguiram ouvir a altura do som sendo alterada, à medida que o professor variava a tensão/comprimento e corda tocada. Para que fosse possível mostrar como se faz a medida da altura das notas tocadas, foi utilizado um aplicativo de celular de afinação do Cifra Club. Para essa dinâmica, os alunos fizeram o download do aplicativo disponível no endereço [afinador Cifra Club](#) e o professor orientou como utilizá-lo

A sala foi então dividida em três grupos (duas duplas e um trio) que em seguida receberam os instrumentos arcaicos os quais estão ilustrados nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Exemplo de medidas da frequência em função da força de tensão usando o instrumento arcaico.



Fonte: O próprio autor

Juntamente com a entrega dos instrumentos, o professor realizou a explicação de como eles deveriam fazer as medidas. Iniciando com a explicação do experimento usando a garrafa com água, para isso eles deveriam encher a garrafa com água, medir sua massa e colocar o recipiente na extremidade da corda, além de colocar o celular dentro da caixa para a realização das medidas da frequência como ilustrado pela Figura 40.

Figura 39 – Exemplo de medidas da frequência em função do comprimento da corda usando o instrumento arcaico.



Fonte: O próprio autor

Figura 40 – Exemplo de como realizar a medida usando a Tensão na corda.



Fonte: O próprio autor

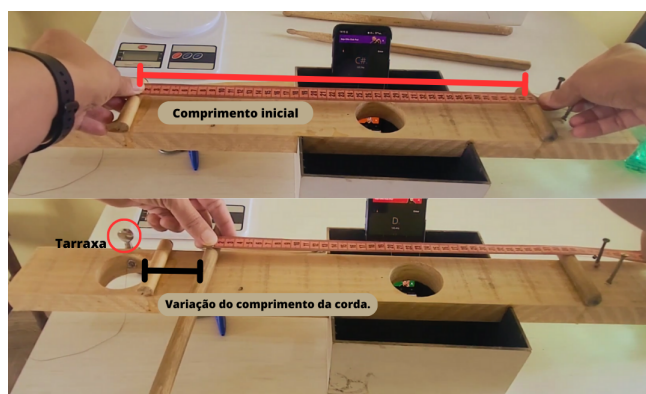
O professor lembrou ainda que ao se medir a massa do recipiente com água, eles precisavam multiplicar a massa pela aceleração da gravidade para obter a força peso, que nesse caso seria igual a tensão na corda.

Após o esclarecimento de como realizar a medida usando a força de tensão na corda, o professor realizou a explicação de como realizar a medida da frequência usando desta vez a variação do comprimento da corda.

Para isso os alunos deveriam, após colocar a corda no instrumento, tensionar a corda usando a tarraxa até o ponto em que ao tocar a corda, o celular começasse a medir a frequência com facilidade. Feito isso eles mediram a distância entre os dois pontos fixos da corda, o que correspondia neste caso ao comprimento da corda e para esse comprimento, registraram a medida da frequência correspondente. Depois disso eles deveriam ir diminuindo o comprimento da corda, medindo seu novo comprimento e

frequência correspondente, como mostra a figura 41.

Figura 41 – Exemplo de como realizar a medida usando alterando o comprimento na corda.



Fonte: O próprio autor

Por haver uma única balança e pouco tempo para a realização do experimento e discussão dos resultados, o professor pediu para que cada grupo realizasse 5 medidas diferentes, sendo que dois grupos (B e C) fizeram as medidas alterando o comprimento e um grupo alterando a massa de água no recipiente (tensão na corda). Nas Figuras 42 ,43 e 44 é possível observar os alunos realizando a atividade.

Figura 42 – Grupo A realizando o experimento



Fonte: O próprio autor

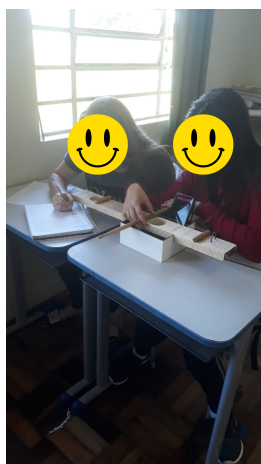
Ao longo da realização do experimento algumas questões foram surgindo, das quais destacam-se: O grupo B que estava realizando a medida da frequência variando o comprimento da corda, observou que ao diminuir o comprimento, a frequência também diminuía, eles me chamaram e me questionaram: “ Professor, quando se toca o violão e a gente vai descendo as casas no braço do violão o som fica mais agudo, isso não significa

Figura 43 – Grupo B realizando o experimento



Fonte: O próprio autor

Figura 44 – Grupo C realizando o experimento



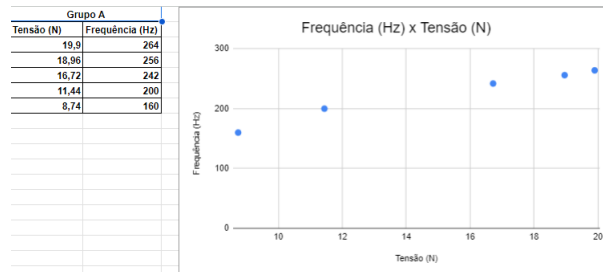
Fonte: O próprio autor

que ele está aumentando a frequência?” . “Não tinha que acontecer isso com o nosso experimento também?”. Questionei-os sobre o que poderia então estar acontecendo com as suas medidas, eles responderam que podia ser a corda que estava com problema, ela era muito fina para conseguirem fazer a medida. Ou ainda, a madeirinha que estavam usando como traste, era mais baixa do que o necessário.

Respondi a eles que erros são comuns ao se trabalhar com experimentos, e que existem diversos erros possíveis para as medidas que eles estavam realizando. Desde um barulho indesejado que poderia ter interferido em uma das medidas, até a movimentação da corda entre uma medida e outra. Aconselhei que os mesmos fizessem as suas medidas novamente para ver se o mesmo problema tornaria a acontecer, o que não aconteceu. Aproveitei a questão realizada pelo grupo B, para alertar os demais grupos, que tais erros poderiam acontecer, caso acontecesse que refizessem suas medidas.

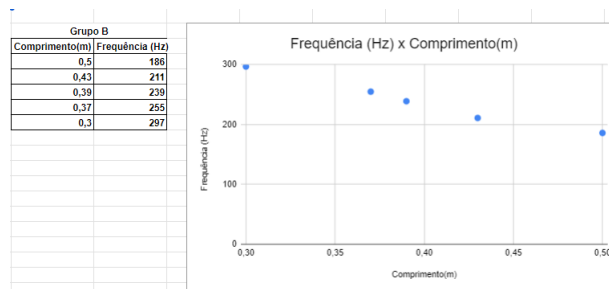
Após os três grupos terem terminado suas medidas, pedi os dados e coloquei-os em uma planilha para a construção dos gráficos das medidas de cada grupo. As Figuras 45,46 e 47 mostram respectivamente as medidas dos grupos A, B e C.

Figura 45 – Medidas do grupo A



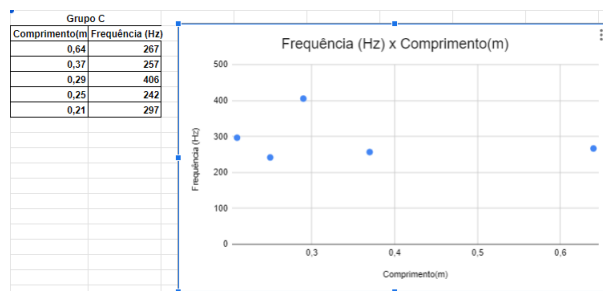
Fonte: O próprio autor

Figura 46 – Medidas do grupo B



Fonte: O próprio autor

Figura 47 – Medidas do grupo C



Fonte: O próprio autor

Após a exposição dos dados obtidos algumas perguntas e comentários foram surgindo entre eles estavam os seguintes:

“Por que os nossos pontos não estão estranhos?” “Nossa frequência não diminuiu, quando aumentamos o comprimento.” “Professor, nossas medidas estão erradas, por isso que os pontos estão subindo e descendo?”

Diante de tais questionamentos e comentários iniciei a discussão: Pessoal, o que vocês conseguiram observar de comum nos dados? *“Bom professor, a gente notou que em todos os gráficos as medidas ou crescem ou decrescem, mas na do grupo C ele oscila em subir e descer”,* falou a aluna L. Questionei-os por que isso aconteceu, a aluna C respondeu: *“as medidas da frequência não seguiram um padrão de só aumentar ou só diminuir como aconteceu com os grupos A e B, as nossas medidas subiram e desceram à medida que o comprimento foi aumentando. Por isso acho que provavelmente nossas medidas possuem algum erro”*. Complementei a resposta da aluna C dizendo: Isso mesmo, suas frequências deveriam diminuir a medida que o comprimento ia aumentando, no entanto isso não aconteceu. Sendo assim houve um resultado inesperado, na realização das medidas de vocês, como o professor já havia explicado anteriormente na hora das medidas, quando realizamos experimento, vários fatores podem interferir nos resultados de nossas medidas, que foi o que ocorreu com vocês neste caso.

5.5 Encontro 5- 2º e 3º Momento: Organização do conhecimento/Aplicação do conhecimento

Descrição:

No último encontro, o professor iniciou perguntando aos alunos se os sons produzidos na última aula pelos seus instrumentos eram iguais. O aluno J respondeu não, então o professor os questionou novamente, agora usando o violão e fazendo a seguinte pergunta: Se eu tocar uma nota Fá no violão o som produzido será o mesmo daquele produzido por um Fá a partir do instrumento arcaico ou algum outro instrumento? A aluna R responde que vai ser diferente, pois os instrumentos serão diferentes. anteriormente o A seguir é apresentado o vídeo [MIMO 2012 - OSBM \(Orquestra Sinfônica de Barra Mansa\) Parte 1 afinação](https://www.youtube.com/watch?v=JutIX4YmwZM), disponível no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=JutIX4YmwZM>, no qual a orquestra está afinando seus instrumentos.

O professor então pergunta aos alunos: Na afinação dos instrumentos todos eles estão tocando uma mesma nota, então a frequência que eles estão emitindo são iguais ou diferentes? A aluna C responde que são diferentes. O professor então lembra a eles que se estão tocando a mesma nota, com o objetivo de afinar os instrumentos, a frequência

deverá ser igual. Por exemplo, se eles estão tocando um Lá (440 Hz) todos deverão tocar o mesmo lá.

Em seguida, o professor explica que a característica que difere uma nota Lá de um determinado instrumento de uma nota Lá de outro instrumento é chamado de Timbre. O que significa dizer que ambos os instrumentos têm como seu harmônico fundamental, por exemplo, a nota Lá de 440 Hz, no entanto as notas tocadas são formadas pela soma de vários harmônicos, dando assim a característica de cada instrumento.

Para tentar ilustrar melhor, o professor relacionou o conceito de Timbre com a pasta de avelã, fazendo a seguinte analogia. Quando se come pasta de avelã de uma determinada marca e a seguir uma pasta de avelã de outra marca qualquer, o gosto será o mesmo? Todos os alunos responderam que não. O professor então completa: Isso acontece porque provavelmente a receita e os ingredientes usados para a fabricação das duas tem características diferentes, apesar de ambas serem pastas de avelã.

Voltando aos instrumentos musicais, o professor menciona que assim também se comporta o timbre, pois apesar dos instrumentos emitirem frequências fundamentais iguais, as ondas resultantes são compostas da soma de "ingredientes" (harmônicos) diferentes. Nesse caso os ingredientes são os materiais dos instrumentos e seu formato, dentre outros aspectos.

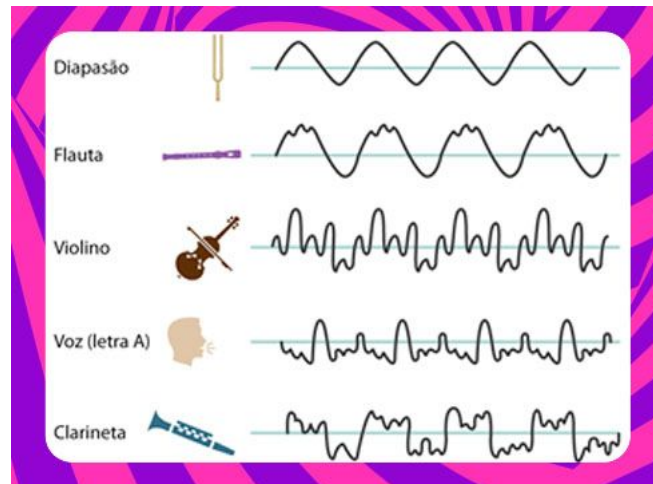
Quando uma orquestra, por exemplo, emite uma nota Lá, todos os instrumentos terão em sua frequência fundamental (harmônico fundamental) a nota Lá. O que vai mudar, em se tratando de ondas, é que quando estamos tocando uma nota, ela não será formada apenas de um harmônico fundamental, mas sim da soma de seu harmônico fundamental com seus outros harmônicos, harmônicos esses já representados na Figura 30.

Musicalmente falando, o timbre estaria ligado à qualidade do som, ou seja, uma característica que difere instrumentos musicais que estão emitindo a mesma nota. Por exemplo, é devido a ele que é possível diferenciar a voz de diferentes pessoas. A fim de complementar a resposta anterior e ilustrar o conceito de timbre, o professor mostrou a Figura 48.

Para a discussão da Figura 48, o professor chamou a atenção dos alunos sobre o formato das ondas e o fato delas apresentarem um padrão de repetição em seus desenhos. Mencionou também que, para um diapasão, temos apenas o harmônico fundamental constituindo a onda, diferentemente de outros instrumentos onde há a sobreposição do harmônico fundamental com seus demais harmônicos. A seguir, também foi realizada a diferenciação entre som e ruído. Para finalizar essa aula, o professor mostrou na prática aos alunos como criar uma onda sonora através da sobreposição de suas ondas, com o uso do simulador disponível no endereço [Making Waves Fourier](#)

O simulador foi aberto na aba Discrete e foi selecionado no controle de gráficos

Figura 48 – Instrumentos com suas ondas características de cada timbre.

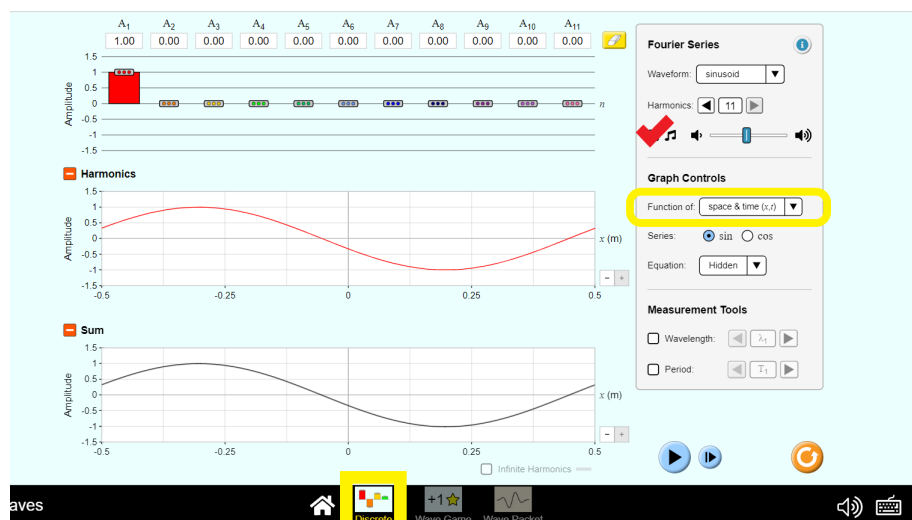


Fonte: Explicae (2021)

uma onda em função do espaço e do tempo, conforme representado na Figura 49. A seguir, o professor deu início à simulação e começou a alterar as amplitudes de cada harmônico, mostrando no primeiro gráfico os harmônicos separados e de forma independente e no segundo gráfico a soma dos harmônicos e a onda resultante.

Na configuração do simulador, os harmônicos estão colocados do mais grave A_1 ao mais agudo A_n . Assim, o professor foi alterando cada um deles com o objetivo de fazer os alunos conseguirem observar como eles iam se somando na onda resultante, além de ouvir a sobreposição deles na construção de um novo som. Ademais, foi enfatizado que, apesar do som por vezes soar de maneira irritante aos ouvidos, eles constituíam uma nota musical e não um ruído.

Figura 49 – Captura da simulação Fourier Making Waves.



Fonte: O próprio autor

Após a explicação sobre timbre, o professor informou aos alunos que os mesmos iriam iniciar uma avaliação com algumas questões sobre o que foi trabalhado nas aulas.

A avaliação escrita foi dividida em 4 temas, na seguinte ordem: Ondas e o Som, Propriedades de uma onda, Velocidade e propagação da onda e Timbre. Cada tema contém questões que buscam identificar a assimilação dos conceitos discutidos nas aulas, cujas respostas serão discutidas no Capítulo 6 - Resultados e discussão, assim como os mapas conceituais

6 Resultados e discussões

O presente Capítulo destina-se a apresentar os resultados qualitativos obtidos durante a aplicação da sequência didática, bem como uma discussão acerca da realização das atividades experimentais e virtuais a partir dos simuladores utilizados. Também serão discutidas as respostas dos alunos na avaliação realizada no último encontro e os resultados dos mapas conceituais construídos por estes.

A primeira aula teve como objetivo a sondagem das concepções prévias dos alunos em relação aos diferentes tipos de instrumentos musicais e suas diferenças, além de relacionar o som com o conceito de onda e introduzir algumas de suas características.

Os alunos mostraram conhecer vários instrumentos musicais, sem muita dificuldade para classificá-los em famílias. Apresentaram dúvidas apenas sobre a qual família pertence o acordeão/sanfona, sendo nesse momento necessário uma explicação mais cuidadosa, para que eles pudessem entender que o mesmo se trata de um instrumento de sopro, cujo som é produzido pelo acionamento dos foles. Ademais, todos foram exitosos ao responder que os instrumentos produzem som e que são usados na música.

Chamou a atenção o fato de, ao serem questionados sobre o que era o som, os alunos terem ficado em silêncio. Era esperado que pelo menos alguns deles se manifestassem com respostas do tipo “é o barulho que ouvimos” ou “quando falamos emitimos som”, no entanto, eles ficaram em silêncio esperando uma resposta .

Talvez esse comportamento tenha origem no fato da aula estar sendo gravada, o que acabou os deixando mais tímidos e com medo de errar nas respostas nesses primeiros minutos. Vale enfatizar que, na apresentação inicial da sequência didática, foi mencionado que um dos objetivos seria descrever o que é o som através de uma perspectiva física, o que pode ter depositado um peso grande nas respostas iniciais, justificando assim o receio deles em responder de forma equivocada.

Outro fato que chamou a atenção, foi que todos manifestaram surpresa no momento em que foi revelado que o som era uma onda. Essa reação de certa forma mostra que não só a timidez ou o medo de errar haviam contribuído para o silêncio frente a pergunta realizada anteriormente, mas talvez a falta de conhecimento em relação ao tema Ondas também tenha sido um limitador de suas possíveis respostas.

Algo que pode ajudar a explicar a surpresa de todos na hora em que descobriram que o Som era uma onda, é o fato de que para eles só existiam ondas do tipo transversal. Isso fica evidente quando, ao verem na simulação Waves Intro a parte da simulação da onda sonora se propagando no ar, eles só conseguem visualizar que aquelas vibrações eram

realmente uma onda no momento que foi acionado o ícone Both na simulação, pois esta opção mostrava a “onda” se propagando junto do movimento de vibração das partículas. Ou seja, até aquele momento eles não eram capazes de perceber que a vibração das partículas na simulação, aquele movimento que resultava num acúmulo de partículas em determinados pontos (zonas de compressão) e afastamento de partículas em outro (zonas de rarefação), se tratava da propagação de ondas sonoras.

Aqui fica evidente a importância que o uso das simulações tem no ensino, uma vez que sem o uso desta, ou de outra tecnologia, dificilmente seria possível mostrar com tanta clareza que o som é uma onda longitudinal, diferente das ondas transversais fortemente incutidas na imaginação dos estudantes devido a inúmeros exemplos cotidianos.

Nesse ponto cabem aqui duas reflexões. A primeira remete ao uso de simulações e demais Tecnologias Educacionais Digitais (TEDs), onde se percebe a contribuição que as mesmas são capazes de promover quando bem utilizadas. No caso específico das ondas sonoras, como eu poderia fazer com que os alunos conseguissem visualizar que o som é uma onda mecânica, longitudinal, sem o uso da simulação? Sem dúvidas isso seria possível, entretanto, demandaria alguns equipamentos e arranjos experimentais mais aprimorados que muitas vezes fogem da realidade das escolas públicas brasileiras. Nesse sentido, Pires (2006) escreve que, no que tange à estrutura, o uso de laboratórios de ciências no Brasil é algo raro, em parte devido ao alto custo de manutenção e funcionamento, tornando as atividades práticas de Física nesses ambientes algo inalcançável para a maioria das escolas públicas brasileiras, em parte pela falta de capacitação dos professores para se trabalhar com esse tipo de material.

Ainda sobre o uso das simulações, Kenski (2012) escreve que o uso das TEDs permite a criação de novos comportamentos de aprendizagem, novas racionalidades e novos estímulos perceptivos. No caso deste trabalho, especificamente na simulação com a onda sonora, o estímulo perceptível aconteceu quando a onda sonora começa a se propagar junto com as vibrações das partículas de ar na simulação. Isso fez com que os alunos associassem aquela nova informação, que aparece na tela da simulação, com algo que eles já conheciam como sendo uma onda, como por exemplo, uma vibração vista de cima que se propaga na superfície de um líquido dentro de um recipiente.

Essa mesma questão é ainda levantada na avaliação escrita a partir das questões do tema 1, sendo que todos os alunos responderam corretamente que o som é uma onda mecânica. Essa mudança na concepção inicial dos alunos ajuda a mostrar que, de certa maneira, o conceito aplicado, buscando usar situações concretas e utilizando a simulação, auxiliou-os na assimilação dos conceitos.

A segunda reflexão remete ao fato de que alguns alunos chegam até a segunda série do Ensino Médio sem sequer terem ouvido falar que existem ondas do tipo longitudinal, além das ondas transversais. Um dos motivos pode ser que no cotidiano não vemos muitos

exemplos de ondas longitudinais, diferentemente das ondas transversais que podemos visualizar em várias situações como em cordas vibrantes, ou em ondas que se propagam em um lago. Um outro motivo que pode contribuir para esse evento talvez seja o fato de que a introdução ao estudo das ondas sonoras deveria ocorrer na disciplina de Ciências, já no 9º ano, de acordo com a BNCC (2015), e dentro da unidade temática Matéria e Energia, na habilidade (EF09CI05): Investigar os principais mecanismos envolvidos na transmissão e recepção de imagem e som que revolucionaram os sistemas de comunicação humana. O fato é que o professor de 9º ano de ciências é geralmente formado em Ciências Biológicas, o que por sua vez acaba fazendo com que o mesmo procure trabalhar com temas mais ligados a sua área de formação. Conseqüentemente, essas escolhas fazem com que temas de outras disciplinas, como o estudo das ondas, sejam deixados de lado.

Durante o 3º encontro ocorreu um diálogo onde os alunos foram questionados se num show de rock no espaço as pessoas conseguiriam ouvir o som dos instrumentos. A questão pode parecer pitoresca em um primeiro momento, mas ela serviu para observar se os alunos conseguiram assimilar que o som precisa de um meio para se propagar e, sendo assim, que no espaço não seria possível ouvir o som dos instrumentos. Nesse contexto, duas alunas responderam a questão corretamente, mas com justificativas errôneas.

A primeira responde que o som não se propaga em função da falta de gravidade no espaço. Já a segunda aluna justifica sua resposta mencionando que é devido à presença da atmosfera e, portanto, atribuindo um papel limitador a esta para a propagação do som.

Várias são as possibilidades do que poderia estar por trás da justificativa de ambas, desde conceitos não assimilados sobre gravidade e atmosfera, até confusão no conceito de atmosfera com ar.

No entanto, observa-se que o uso do vídeo Som no vácuo facilitou a assimilação do conceito de que o som precisa de um meio para poder se propagar. Como já citado neste capítulo, o uso das TEDs permite aos alunos uma observação mais detalhada dos fenômenos, fazendo neste caso a conexão do conceito com o mundo real, evitando assim que o conceito ficasse apenas no abstrato.

Diante disso, e da análise das respostas referentes à mesma pergunta realizada na avaliação final, acredita-se que o vídeo ajudou a fortalecer o entendimento dos alunos a respeito de que, para se propagar, o som dependeria de um meio.

As respostas dos alunos na avaliação foram as seguintes: a aluna L respondeu “*Não, pois existe vácuo nesse ambiente.*”, a aluna R respondeu “*Não, porque o som não pode se propagar no espaço porque lá existe o chamado vácuo.*”, a aluna B respondeu “*Não, porque no espaço não tem moléculas no ambiente, não tem como as ondas sonoras se propagarem.*”, o aluno D respondeu: “*Não por serem ondas mecânicas, não se propagam no espaço, pois no vácuo não existem moléculas onde o som flui.*”, o aluno respondeu: “*Não, não há*

moléculas no ambiente fazendo com que as ondas sonoras não sejam transmitidas.” e a aluna C respondeu “Não, pois nesse ambiente não existe vácuo.”

Analisando as respostas dos alunos, percebe-se que o vídeo influenciou na assimilação de conceitos importantes associados a ondas mecânicas, pois todos conseguiram relacionar a impossibilidade da propagação do som no vácuo, ou a falta de partículas no espaço, diferentemente do que havia sido respondido durante no diálogo anterior, no início da aplicação da sequência didática. Até mesmo a aluna que justificou erroneamente a questão na avaliação, errou tentando justificar sua resposta a partir da ideia de vácuo, o que reforça a ideia de que as TEDs são capazes de amplificar o processo de ensino aprendizagem.

Já no encontro 4, ocorreu algo interessante relacionado ao uso do violão para a explicação do conceito de frequência e nota musical, e também relacionado ao uso do instrumento arcaico para a realização das medidas por parte dos alunos. Um dos grupos (grupo B), ao realizar as medidas, percebeu que elas não estavam saindo conforme mostrado inicialmente e através do violão. Essa constatação somente pode ocorrer uma vez que houve a abordagem inicial da teoria através de uma atividade demonstrativa com o auxílio do violão. Toda essa dinâmica forneceu elementos conceituais suficientes aos alunos, auxiliando-os a identificarem erros na execução e aquisição de dados do experimento com o instrumento arcaico e, assim, fazendo-os questionar o procedimento.

Uma segunda observação remete ao fato que, a partir do experimento com o instrumento arcaico, os alunos conseguiram testar na prática, e de maneira sistemática, o que havia sido realizado de forma meramente demonstrativa com o violão, que ao se diminuir o comprimento das cordas (descendo as casas do violão) as notas deveriam ficar mais agudas e sua frequência aumentaria. Foi exatamente dessa forma, a partir de medidas de frequência, que o grupo B conseguiu inferir que provavelmente suas medidas estavam erradas.

Essas constatações indicam que os alunos conseguiram compreender a relação entre o comprimento da corda e a frequência da onda, uma vez que quando foram tabular os dados, os integrantes do grupo B conseguiram verificar, sem ajuda, que as medidas não estavam de acordo com aquilo que se esperava, pois a frequência não diminuiu quando aumentaram o comprimento da corda.

Isso ilustra a importância que um experimento simples, prático, eficiente e de baixo custo possui para a abordagem de alguns conceitos. Diferentemente do que aconteceria em uma aula puramente teórica, ou ainda em uma aula de laboratório com equipamentos modernos e cheios de especificidades para a sua manipulação, onde se despenderia muito tempo para que o professor pudesse planejar e fazer com que os alunos realizassem as medidas, com o experimento de baixo custo é possível fazer com que os alunos se preocupem apenas em verificar suas hipóteses, e não em ajustar parâmetros e ferramentas para a realização das medidas.

Com isso, o aluno permanece com sua atenção voltada para o aprendizado da teoria e ao seu uso na interação com a realidade, deixando de se preocupar com o funcionamento e a operação do equipamento, e não se esquecendo do objetivo primário da atividade empírica que se mantém ligada ao conteúdo estudado ou a estudar (LABURÚ; SILVA; BARROS, 2008, pg-171).

Essa simplicidade e praticidade permitiu que os alunos se atentassem integralmente ao que realmente era importante no experimento e em compreender a teoria norteadora deste.

Diante disso, o experimento com o instrumento arcaico cumpre seu papel de motivador ao aprendizado, bem como de instrumento verificador da teoria, pois apesar de simples, as medidas realizadas com sua utilização são suficientes para investigar as hipóteses pesquisadas.

Ainda na parte da tabulação dos dados, os alunos conseguiram relacionar os dados obtidos com as tendências das medidas serem crescentes e decrescentes. Mesmo sem ter trabalhado a parte gráfica de forma mais profunda, apenas com os dados obtidos, eles conseguiram relacionar os resultados com algo já estudado anteriormente. Isso pode estar associado ao fato de que, tanto no 9º ano do Ensino Fundamental, quanto na 1ª série do Ensino Médio, eles tiveram funções como objeto de estudo na disciplina de Matemática. No caso específico desse trabalho, eles puderam identificar, mesmo que de maneira incipiente, relações a partir de grandezas físicas específicas e com significado para além da Matemática.

A dificuldade em uma análise mais aprofundada dos resultados obtidos a partir dos gráficos, pode ser advinda de uma falta de contextualização no que tange ao conteúdo de funções apresentados na disciplina de Matemática e situações físicas reais. Outro aspecto que pode ser considerado é o fato de que no ano anterior, 2020, ano em que eles estavam cursando a primeira série do ensino médio e onde há um aprofundamento no estudo de funções, as aulas foram remotas. Sendo assim, provavelmente o conhecimento de funções que eles realmente possuíam foi oriundo do 9º ano, onde em geral não há um aprofundamento maior em relação ao conteúdo de funções.

Na parte inicial do 5º encontro, onde ocorreu a explicação sobre o Timbre, os alunos demonstraram saber que uma mesma melodia tocada por instrumentos diferentes soaria diferente, no entanto, percebeu-se que eles não compreendem muito bem por que isso acontece. Eles apenas tinham noção de que instrumentos diferentes emitem sons de características diferentes e que podem ser diferenciados e identificados de forma relativamente simples, respondendo baseados no sentido da audição de cada um.

Ao tentar traduzir essa percepção auditiva em conhecimento científico e definir o conceito de timbre, observou-se que os resultados ficaram aquém do esperado, uma vez que esperava-se que os alunos pudessem compreender a origem física de tal percepção,

além de simplesmente constatar o fenômeno.

Mesmo com a utilização da simulação e a manipulação das ordens e amplitudes dos harmônicos, onde os alunos puderam visualizar e ouvir a onda resultante de sua soma, ficou claro a partir de suas respostas às questões do tema 4 da avaliação, que a simulação não foi suficiente, neste caso, para a assimilação e apropriação dos conceitos necessários para a compreensão do timbre sob uma perspectiva física. Essa constatação baseia-se nos retornos dos alunos enquanto ocorria a dinâmica com a simulação e a partir de suas respostas na avaliação, onde a resposta dos alunos restringiu-se em apenas dizer que o timbre tratava-se da qualidade do instrumento, sendo que nenhum deles conseguiu se aprofundar no tema fisicamente falando. Não tentaram discutir como a soma de harmônicos constrói um timbre, como foi explicado na hora da simulação.

Uma das explicações possíveis para isso pode ter sido a falta de tempo durante a aula para uma discussão mais profunda e detalhada do tema, contribuindo assim para que os alunos não viessem a construir o conceito de forma gradativa e permanente.

Outro elemento importante é a própria natureza dos conceitos envolvidos, que trata, dentre outros fenômenos, do princípio de superposição de ondas, conceito este um tanto abstrato e, de certa forma, completamente novo para eles. Ademais, a falta de uma explicação mais profunda e completa da própria origem dos harmônicos em um instrumento musical pode ter contribuído para a falta de contextualização destes e, portanto, uma perda de interesse ou confusão conceitual por parte dos alunos.

7 Considerações Finais

O presente trabalho teve como objetivo a construção e aplicação de um produto educacional que consiste numa sequência didática sobre os temas ondas e som, utilizando problematizações como instrumentos de motivação e contextualização para os alunos. Esse produto foi proposto como forma de alternativa às aulas convencionais e tradicionais de Física do Ensino Médio. Ademais, foi investigada qualitativamente evidências da eficácia da proposta e da aprendizagem dos alunos.

A sequência didática proporcionou uma abordagem estruturada, com um aprofundamento gradual dos conceitos estudados, através dos 3 momentos pedagógicos. A sequência iniciou-se com uma problematização inicial, partindo do conhecimento prévio dos alunos sobre o que era o som, progredindo a seguir para o estudo dos demais conceitos pertinentes, a partir de aulas com o uso de simuladores, instrumentos musicais e experimento prático com um instrumento arcaico.

Os simuladores e os instrumentos musicais tiveram as funções motivadora e problematizadora a fim de facilitar e viabilizar o engajamento, participação, assimilação e compreensão dos alunos acerca dos conceitos de frequência, período, comprimento de onda, relação da frequência da onda com a nota musical, relação da velocidade com comprimento e frequência. Já o experimento com o instrumento arcaico permitiu uma interação dos alunos com o conceito da relação da frequência, com o comprimento da onda e tensão na corda, permitindo-lhes testar as suas hipóteses. Por conta do planejamento, a sequência permitiu que pequenas avaliações fossem feitas ao longo do processo de aprendizado, além de uma avaliação final para mensurar e estimar a compressão dos conceitos pelos alunos.

A proposta metodológica consistiu na utilização de algumas ferramentas educacionais como simulações computacionais, instrumentos musicais e aulas práticas para a abordagem dos conceitos pertinentes à ondas e som, a fim de proporcionar uma aplicação do conteúdo de maneira mais dinâmica e interativa.

Os resultados obtidos indicam que o uso de algumas dessas estratégias pedagógicas pode proporcionar aos estudantes uma aprendizagem mais significativa e também duradoura acerca dos conceitos estudados.

As simulações computacionais em geral mostraram-se capazes de apresentar conceitos abstratos de forma mais acessível e interativa, permitindo uma melhor compreensão dos fenômenos físicos. Forneceram aos alunos uma representação visual das ondas e seus fenômenos associados, permitindo que eles experimentassem diferentes cenários e observassem as consequências de suas escolhas, diferentemente do que acontece em uma aula expositiva tradicional.

No entanto, após uma análise cuidadosa dos resultados, percebe-se que em algumas das atividades a falta de tempo para uma melhor discussão e manipulação das simulações pelos alunos, além de dificuldades conceituais intrínsecas, acabou tornando o uso destas menos eficiente em relação ao esperado, como no exemplo da simulação sobre o timbre.

Nesse caso, propõe-se ao professor que queira reaplicar o produto, que adapte-o de maneira tal que os alunos possam manipular as simulações por mais tempo e após uma detalhada discussão conceitual prévia sobre os harmônicos e a origem destes em instrumentos musicais, além de uma explicação cuidadosa do princípio de superposição em ondas. Se bem realizadas, essas ações podem aguçar a curiosidade e interesse dos alunos, gerando assim resultados mais satisfatórios na utilização dessa simulação específica.

Ademais, nesse ponto vale ressaltar que para a reaplicação do produto de forma mais efetiva, deve-se pensar em talvez 5 encontros de 90 minutos cada, uma vez que o tempo de aplicação utilizado neste trabalho, com 3 encontros de 90 minutos e dois de 45 minutos, mostrou-se insuficiente para se atingir todos os objetivos.

Os instrumentos musicais por sua vez possibilitaram a demonstração prática de conceitos como frequência e amplitude de maneira satisfatória, além de despertar o interesse dos alunos para fenômenos físicos presentes na música e em instrumentos musicais. Além disso, a maior parte dos alunos conseguiu estabelecer uma conexão entre fenômenos observados na demonstração com o violão, onde apresentou-se a relação entre o comprimento da corda e a frequência, e as medidas realizadas no instrumento arcaico, sendo que inclusive um dos grupos conseguiu identificar e corrigir de forma independente erros experimentais cometidos no momento das medidas.

O experimento com o instrumento arcaico proporcionou uma experiência mais concreta e envolvente que, aliado à aula expositiva, permitiu aos alunos momentos de maior interação na sequência didática, momentos estes em que os estudantes, através das análises dos resultados obtidos, puderam então elaborar e fazer questionamentos específicos sobre a dinâmica e fenômenos envolvidos. Nesse ponto, chegando inclusive a questionar o professor sobre o motivo das medidas de um dos grupos não estarem condizentes com o que eles tinham aprendido na teoria.

Ainda sobre a utilização do instrumento arcaico na aula prática, ele permitiu que os alunos pudessem observar alguns dos conceitos envolvidos de uma maneira diferente daquela que ocorreria caso fossem utilizados instrumentos musicais convencionais. Ele permitiu aos alunos, além de uma verificação prática, uma experiência de investigação, onde foram analisadas de uma maneira sistemática as relações existentes entre algumas grandezas físicas, como frequência/comprimento da corda e frequência/tensão na corda, consolidando assim seu entendimento teórico sobre esses conceitos. No último caso, puderam também verificar que a massa disposta no recipiente afeta a tensão na corda e, portanto, a frequência de oscilação. Já no violão para discutir esse mesmo conceito, deveria

se falar sobre o calibre das cordas, o que para alguns alunos pode não ser tão claro, como colocar dois pesos diferentes em uma balança.

Os resultados deste trabalho também apontam que uma abordagem pedagógica envolvendo uma conexão entre teoria e prática pode ajudar na resolução de algumas dificuldades encontradas no Ensino de Física de maneira mais geral, como a falta de interesse e a motivação dos alunos.

Em suma, é possível assumir que o uso de simulações, instrumentos musicais arcaicos e convencionais, mapas conceituais e aulas práticas, podem compor um conjunto de estratégias eficazes para o ensino de ondas e som na Física do Ensino Médio. Ressalta-se, no entanto, que este trabalho também aponta para a necessidade da implementação cuidadosa e planejada dessas estratégias instrucionais, a fim de garantir o máximo de sua eficácia e êxito no cenário educacional.

É possível concluir, através da análise dos resultados, que a sequência didática cumpriu o papel como ferramenta pedagógica, sendo que a mesma pode ser usada como ferramenta para o ensino de conceitos físicos presentes no som, tornando a aprendizagem do aluno, algo mais prazeroso e menos cansativo se comparada às aulas tradicionais de física.

Referências

ANDREOTTI, E.; FRANS, R. The connection between physics, engineering and music as an example of steam education. *Physics Education*, IOP Publishing, v. 54, n. 4, p. 045016, 2019.

ARAÚJO, M. S. T. d.; ABIB, M. L. V. d. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de ensino de física*, SciELO Brasil, v. 25, p. 176–194, 2003.

BRAGA, S. I. N. C. *Como funcionam os alto-falantes (art 1388)*. 2022. Acessado em: 14/10/2022. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/11981-como-funcionam-os-alto-falantes-art1388.html>>.

BRASIL, M. Pcn+ do ensino médio: orientações educacionais complementares aos pcn. *Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.. Brasília: MEC*, p. 87–111, 2002.

COELHO, A. L. M. d. B. Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória. 2016.

COSTA, M. R. *Avaliação e ensino de ondulatória, acústica e movimento harmônico simples usando contexto musical e jogo de tabuleiro*. Dissertação (Mestrado) — Brasil, 2018.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. *Física*. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1990. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=28243>.

EXPLICAE, S. *Tudo sobre ondas sonoras*. 2021. Acesso em: 12/03/2023. Disponível em: <<https://blog.explicae.com.br/enem/ondas-sonoras-enem>>.

FERNANDES, J. C. Acústica e ruídos. *Bauru: Unesp*, v. 102, 2002.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. Lições de física de feynman; vol. i. *American Journal of Physics*, Bookman, v. 33, n. 9, p. 750–752, 2008.

HEWITT, P. *Física Conceitual-12*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. da; BARROS, M. A. Laboratório caseiro pára-raios: um experimento simples e de baixo custo para a eletrostática. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 25, n. 1, p. 168–182, 2008.

LACERDA, O. *Compêndio de teoria elementar da música*. (3º ed.) são paulo: Ricordi brasileira. 1967.

MEDEIROS, A. *Ondas Longitudinais e Transversais: Terremotos x Explosões Subterrâneas*. 2011. Acesso em: 12/03/2023. Disponível em: <<http://alexandremedeirosfisicaastronomia.blogspot.com/2011/12/ondas-longitudinais-e-transversais.html>>.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. d. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 24, p. 77–86, 2002.

MOREIRA, I. d. C. Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no brasil. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 40, 2018.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e diagramas v. *Porto Alegre: Ed. do Autor*, v. 103, 2006.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do Professor de Física*, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2017.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor*. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. v. 2.

PUJOL, B. S. R. *Campo Auditivo Humano*. 2018. Acesso em: 12/03/2023. Disponível em: <<http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>>.

SCHLEICHER, A. Insights and interpretations. *Pisa 2018*, v. 10, 2018.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Física III*. [S.l.]: São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2015.

SILVA, A. E. da; COSTA, J. F. da; CAMARGO, S.; HILGER, T. R.; SAMOJEDEN, L. L. Ensino de ondas sonoras e sude auditiva na perspectiva dos 3mp e no enfoque cts. *Enpec, 2017*, 2017.

SILVA, D. K. d. A física e os instrumentos musicais construindo significados em uma aula de acústica. 2017.

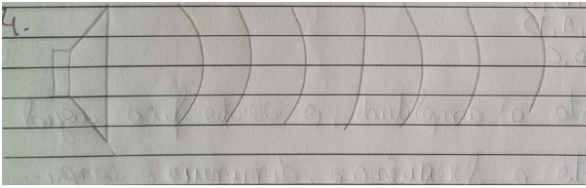
SILVA, G. M. da. Simuladores em aulas de física: Quando utilizar? In: *Anais do CIET: EnPED: 2020-(Congresso Internacional de Educação e Tecnologias/ Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância)*. [S.l.: s.n.], 2020.

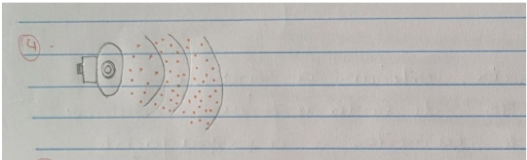
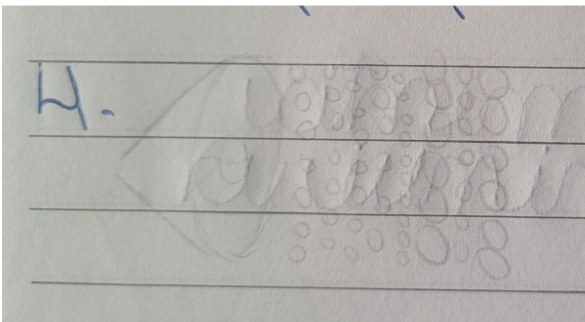
WIKIPEDIA, S. *Som*. 2023. Acessado em: 10/02/23. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Som>>.

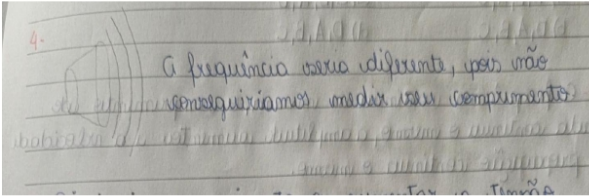
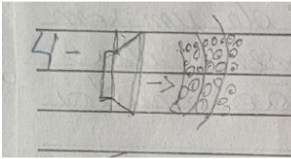
Apêndices

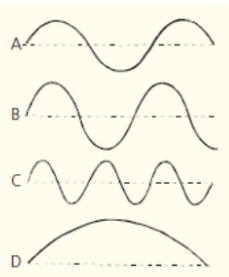
APÊNDICE A- RESPOSTAS DA AVALIAÇÃO

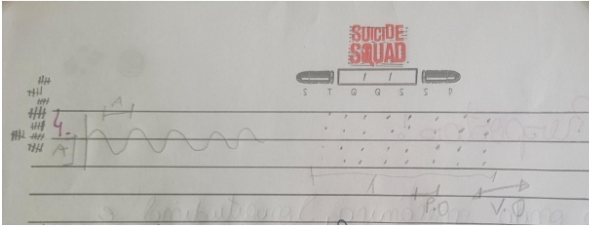
APÊNDICE A - RESPOSTAS INDIVIDUAIS DOS ALUNOS ÀS QUESTÕES DA AVALIAÇÃO ESCRITA DIVIDIDAS EM TEMAS

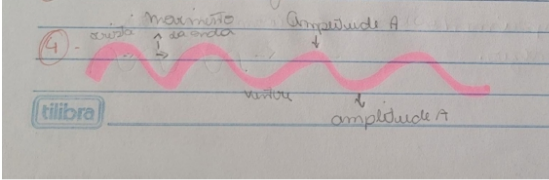
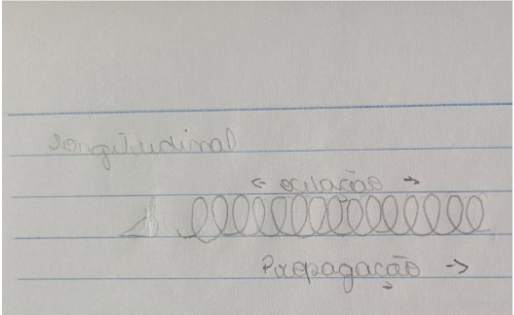
TEMA 1: ONDAS E O SOM	
1- Descreva com suas palavras o que é o som.	
2- Descreva como o som pode ser criado a partir da corda de um violão e como ele se propaga até os nossos ouvidos.	
3- É possível ouvir algum tipo de som no espaço sideral? Explique sua resposta.	
4- Faça uma ilustração representando o que ocorre com o ar nas proximidades de um alto falante oscilando numa frequência constante.	
RESPOSTAS	
Aluno 1 (L)	<p>1-É uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional, é um dos principais tipos de ondas presentes em nosso cotidiano.</p> <p>2-A vibração das cordas produz alternadamente compressões e rarefações do ar, produzindo variações de pressão que se propagam através do meio.</p> <p>3-Não, pois existe vácuo nesse ambiente.</p> <p>4-</p> 

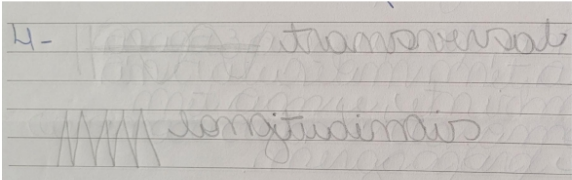
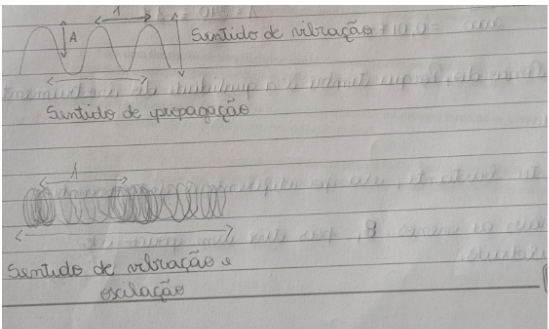
<p>Aluno 2 (R)</p>	<p>1-Vibração que se propaga no meio com uma frequência capaz de ser percebida pelo ouvido humano.</p> <p>2-O som é produzido a partir de cordas, que quando acionadas provocam compressões e rarefações no ar, no caso chamadas ondas sonoras.</p> <p>3-Não, porque o som não pode se propagar no espaço porque lá existe o chamado vácuo.</p> <p>4-</p> 
<p>Aluno 3 (B)</p>	<p>1-O som é uma onda mecânica .</p> <p>2- Ele produz sons a partir da vibração de suas cordas. Então ele precisa de que ocorra uma perturbação para que as cordas vibrem, ele se propaga pelo ar.</p> <p>3-Não, porque no espaço não tem moléculas no ambiente, não tem como as ondas sonoras se propagarem.</p> <p>4-</p> 
<p>Aluno 4 (C)</p>	<p>1-O som é uma onda mecânica.</p> <p>2- A vibração das cordas produz alternadamente compressões e rarefações do ar ou seja produz variações de pressão que se propagam através do meio.</p> <p>3- Não, pois nesse ambiente não existe vácuo.</p> <p>4-</p>

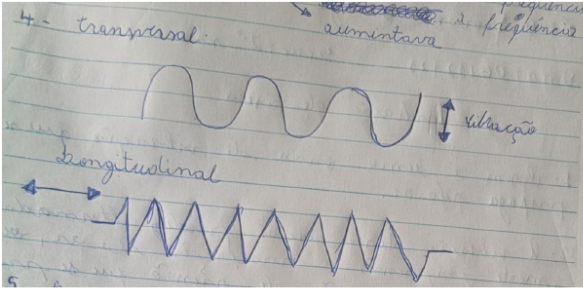
	 <p>4- A frequência varia diferente, pois não conseguiríamos medir seus comprimentos.</p>
<p>Aluno 5 (D)</p>	<p>1-O som é uma onda de vibração que se propaga pelo ar</p> <p>2- A vibração das cordas produz alternadamente compressões e rarefações do ar ou seja produz variações de pressão que se propagam através do meio.</p> <p>3- Não por serem ondas mecânicas , não se propagam no espaço, pois no vácuo não existem moléculas onde o som flui.</p> <p>4- Não fez.</p>
<p>Aluno 6 (J)</p>	<p>1-É uma onda mecânica.</p> <p>2- O violão produz som com a vibração em suas cordas e assim podemos ouvi-lo.</p> <p>3- Não, não há moléculas no ambiente fazendo com que as ondas sonoras não sejam transmitidas.</p> <p>4-</p> 

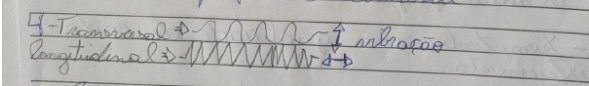
TEMA 2: PROPRIEDADES DE UMA ONDA
1 - A partir dos experimentos realizados em aula, o que pode ser feito se quisermos variar a frequência do som criado pelo instrumento?
2 - A partir do experimento realizado em aula, descreva qual era o comportamento da frequência quando se aumentava ou diminuía o comprimento da corda.
3 - A partir do experimento realizado em aula, descreva qual era o comportamento da frequência quando se aumentava ou diminuía a tensão da corda, aumentando ou diminuindo a massa de água na extremidade desta?
4 - Faça uma ilustração de uma onda transversal e outra de uma onda longitudinal, identificando a amplitude, o comprimento de onda, o sentido de propagação e o sentido de oscilação.
5 - Como se relacionam a frequência e o período? Como se relacionam frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação em uma onda periódica?
6 - Ao soar na nota Lá (A), a corda de um violino oscila a 440 Hz. Qual é o período da oscilação da corda? Esse som é mais agudo ou grave que uma nota Ré (D) oscilando a 294 Hz no mesmo violino? Qual é o período nesse caso?
7 - Todas as ondas mostradas abaixo têm a mesma velocidade e estão no mesmo meio. Com o auxílio de uma régua ordene essas ondas em sequência decrescente de acordo com o valor de sua/seu (a) amplitude, (b) comprimento de onda, (c) frequência e (d) período.

8 - Ao aumentarmos o volume de um som, o que ocorre com a frequência, com o comprimento de onda, com a amplitude e com a velocidade de propagação deste?
9 - Ao aumentarmos a altura de um som, o que ocorre com a frequência, com o comprimento de

onda, com a amplitude e com a velocidade de propagação deste?	
RESPOSTAS	
Aluno 1	<p>1-Mudar o comprimento e retirar um pouco da água.</p> <p>2-Quando diminuía o comprimento aumentava a frequência</p> <p>3- Quando tira um pouco da água fica mais grave, diminui a frequência.</p> <p>4-</p>  <p>5- Se diminuir a frequência aumenta o período.</p> <p>6- 0,0022 e 0,0034</p> <p>7-a) D,B,A,C b) D,A, B, C c) C,B,A,D d) D,A,B,C</p> <p>8- Aumenta a amplitude, o resto fica igual.</p> <p>9- Aumenta a frequência, diminui o comprimento.</p>
Aluno 2	<p>1-Diminuía ou aumentava o peso.</p> <p>2-Diminui= Aumenta a frequência. Aumenta= Diminua a frequência.</p> <p>3- grave diminuir a frequência.</p> <p>4-</p>

	  <p>5- Quanto aumenta a frequência diminui o período e quando aumentava a frequência o comprimento diminuía.</p> <p>6- 0,00 e 0,00.</p> <p>7- a) D, B, A, C. b) D, A, B, C. c) C, B, A, D. d) D, A, B, C.</p> <p>8- A frequência continua a mesma, o comprimento de onda continua o mesmo a amplitude aumenta e a propagação continua a mesma.</p> <p>9- Aumenta a frequência e diminui o comprimento, a velocidade e a propagação continuam iguais.</p>
Aluno 3	<p>1- Temos que aumentar ou diminuir o comprimento da corda e aumentar ou diminuir a perturbação.</p> <p>2- Quando se aumentava o comprimento da corda, diminuía a frequência. E quando diminuía o comprimento aumentava a frequência.</p> <p>3- Quando aumentava a tensão diminuía a frequência, e quando diminuía a tensão aumentava a frequência.</p>

	<p>4-</p>  <p>5- Quando se aumenta a frequência diminui o período.</p> <p>6- Não respondeu.</p> <p>7) a) D, B, A, C. b) c) e d) Não respondeu.</p> <p>8- A frequência diminui e o comprimento aumenta.</p> <p>9- Não respondeu.</p>
Aluno 4	<p>1- Diminuir o comprimento ou aumentar a tensão.</p> <p>2- Quando aumentava o comprimento diminuía a frequência e quando diminuía o comprimento aumentava a frequência.</p> <p>3- Quando aumenta a força diminui a frequência e quando diminui a força diminui a frequência.</p> <p>4-</p>  <p>5- Quando aumenta o período diminui a frequência. A velocidade é constante e o comprimento e frequência são inversamente proporcionais.</p> <p>6- O mais agudo é o 440Hz = 0,002272, e $T = 1/294 = 0,003401$.</p>

	<p>7- a) D,B,A,C. b) D,A, B,C. c) C,B,A,D. d)D,A,B,C.</p> <p>8-A frequência continua a mesma, o comprimento de onda continua o mesmo,a amplitude aumentou e a velocidade de propagação continuou o mesmo.</p> <p>9-Falso porque não muda o meio. O comprimento de onda irá aumentar duas vezes.</p>
<p>Aluno 5</p>	<p>1- Podemos aumentar ou diminuir a pressão das cordas.</p> <p>2- Quando aumenta o comprimento diminui a frequência. Quando diminui o comprimento aumenta a frequência.</p> <p>3- Aumentando a tensão diminuía a frequência. Diminuindo a tensão a frequência aumentava</p> <p>4-</p>  <p>5- Se aumentar o tempo que ela vai e volta, ela irá de volta em menos tempo.</p> <p>6- O período da nota Lá é 0,002 segundos. E da nota Ré é 0,003 segundos.</p> <p>7- Não respondeu.</p> <p>8-Apenas a amplitude aumenta, o resto continua o mesmo.</p> <p>9- Aumenta a frequência, diminui o comprimento.</p>

Aluno 6	<p>1- Temos que apertar ou afrouxar as cordas.</p> <p>2- Quando diminuimos a corda a frequência aumenta, e quando aumenta a corda diminui a frequência deixando mais grave.</p> <p>3- Quando aumenta a tensão na corda a frequência aumenta, quando diminui a tensão a frequência diminui.</p> <p>4-</p>  <p>5- Se aumentar o tempo que ela vai e volta ela irá ir e voltar em menor tempo.</p> <p>6- O período da nota Lá é 0,002 segundos. E da nota D é 0,003, a mais grave é a nota D.</p> <p>7- amplitude D,B,A,C. comprimento D,A,B,C.</p> <p>8- Ao aumentarmos o som a frequência continua a mesma, o comprimento diminui, e a velocidade aumenta, e a amplitude aumenta.</p> <p>9- Quando aumenta a altura de um som a frequência aumenta, o comprimento da onda diminui, a amplitude não muda e a velocidade fica constante.</p>
---------	---

TEMA 3: VELOCIDADE E PROPAGAÇÃO DA ONDA	
<p>1- Ao longo das aulas estudamos que a velocidade de propagação de uma onda periódica, é proporcional ao produto do seu comprimento pela frequência. De acordo com essa informação, classifique a frase abaixo em verdadeira ou falsa e justifique sua resposta. "Ao aumentarmos a frequência de uma onda se propagando em determinado meio estaremos por consequência aumentando sua velocidade de propagação."</p>	
<p>2- Se uma onda periódica ao mudar de meio tem sua velocidade dobrada, enquanto sua frequência se mantém inalterada, o que acontecerá ao comprimento de onda?</p>	
<p>3- Se a velocidade de uma onda estacionária dobrar enquanto seu comprimento de onda se mantém inalterado, o que acontecerá à frequência?</p>	
<p>4- A frequência mais alta que os seres humanos conseguem ouvir é de aproximadamente 20.000 Hz. Qual é o comprimento de onda no ar correspondente a essa frequência considerando que sua velocidade é de 340m/s? Qual é o maior comprimento de onda do som que conseguimos ouvir e que está relacionado a uma frequência de 20 Hz?</p>	
RESPOSTAS	
Aluno 1	<p>1-falso, por que não muda o meio.</p> <p>2-Ela vai dobrar também.</p> <p>3-O comprimento dobrou.</p> <p>4- = 0,017 m e = 17m</p>
Aluno 2	<p>1-Não respondeu.</p> <p>2- O comprimento da onda aumenta duas vezes.</p> <p>3-A frequência irá dobrar.</p> <p>4- = 0,017m e = 17m</p>
Aluno 3	<p>1-Verdadeira.</p> <p>2-Não respondeu.</p> <p>3-Não respondeu.</p> <p>4-Não respondeu.</p>

Aluno 4	<p>1-A frequência irá dobrar.</p> <p>2-Não respondeu.</p> <p>3-Não respondeu.</p> <p>4- $\lambda = 0,017m$ e $\lambda = 17m$.</p>
Aluno 5	<p>1- Falso, porque não muda o meio.</p> <p>2-Vai aumentar duas vezes.</p> <p>3-Ela vai dobrar também.</p> <p>4- $\lambda = 0,017$ e $\lambda = 17$.</p>
Aluno 6	<p>1-Falso, só muda a velocidade quando mexer no meio.</p> <p>2- Ela irá dobrar.</p> <p>3- A frequência irá dobrar.</p> <p>4- A maior frequência é 0,017.</p>

TEMA 4: TIMBRE	
<p>1- Um colega de turma afirma que o timbre diz respeito à qualidade de um som musical estável composto de uma mistura de harmônicos de intensidades diferentes. Você concorda ou discorda dele? Explique com suas palavras o que é o timbre.</p>	
<p>2- Comparada com a frequência fundamental, a frequência do segundo harmônico é: a) duas vezes menor; b) igual; c) duas vezes maior; d) quatro vezes maior. Faça uma ilustração de uma onda estacionária com a frequência fundamental e a frequência do segundo harmônico.</p>	
RESPOSTAS	
Aluno 1	<p>1-Concordo, a diferença um som do outro.</p> <p>2- Letra A</p>
Aluno 2	<p>1- Timbre é a qualidade do instrumento.</p> <p>2- a</p>
Aluno 3	<p>1-Concordo, o timbre é uma onda sonora, pode ser vários sons diferentes, é a maneira que temos para distinguir cada som.</p> <p>2-Não respondeu.</p>
Aluno 4	<p>1-Concordo. Por que o timbre é a qualidade do instrumento.</p> <p>2- a).</p>
	<p>1-Concordo pois o timbre e a qualidade do instrumento.</p>

Aluno 5	2- Não respondeu.
Aluno 6	1-Sim, timbre é a qualidade de cada instrumento. 2- Não respondeu.

APÊNDICE B- PRODUTO EDUCACIONAL

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Valmir de Liz

PRODUTO EDUCACIONAL

O ENCONTRO DE DOIS MUNDOS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O SOM DA FÍSICA

Blumenau/SC
2023

O ENCONTRO DE DOIS MUNDOS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O SOM DA FÍSICA

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: O ENCONTRO DE DOIS MUNDOS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O SOM DA FÍSICA, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 52 – UFSC /BLUMENAU-SC, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es): Dr. Lucas Natálio Chavero

O ENCONTRO DE DOIS MUNDOS

Uma sequência didática
sobre o som da Física.



Mestrando: Valmir de Liz
Orientador: Prof. Dr. Lucas Natálio Chavero

2023

Sumário

1. Apresentação	3
2. Referencial teórico	4
3. Referencial didático pedagógico	7
4. Roteiros	10
5. Considerações Finais	40
Referências Bibliográficas	41
Apêndices	42
MANUAL PARA A CONSTRUÇÃO DE UM INSTRUMENTO ARCAICO DE BAIXO CUSTO.	43

1. Apresentação

Caros professores, sejam bem-vindos a essa jornada através de dois mundos. Os quais parecem estar tão longe, mas ao mesmo tempo estão tão perto. O presente produto educacional busca trazer de maneira prática e concreta o ensino de conceitos ondulatórios encontrados na música. Como o ramo da Ondulatória é um campo muito extenso, nessa sequência didática optou-se então por trabalhar com conceitos os quais pensamos ser fundamentais para entender alguns elementos da música a partir de conceitos físicos. A abordagem desses conceitos foi planejada de tal maneira que o estudante venha a ter contato teórico e prático com os conceitos trabalhados, já desde a primeira aula. Esse contato prático se dá por vezes através de simulações e por vezes através do uso de instrumentos práticos.

Sugere-se que o presente produto seja aplicado em uma turma da segunda série do ensino médio ou 9º ano do ensino fundamental, num total de 8 horas/aula de 45 minutos, sendo para isso necessárias 5 aulas (3 encontros com 2 horas/aula em cada encontro, e 2 encontros de 1 hora/aula). Para um melhor resultado sugere-se também que se possível o mesmo seja aplicado em 5 aulas de 90 minutos.



Fonte: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/bbc/2020/05/02/como-albert-einstein-organizava-seu-tempo-e-por-que-as-vezes-ate-se-esquecia-de-almocar.htm>

2. A Física do Som

Neste capítulo será apresentado a teoria necessária para que você, professor que deseja vir a aplicar este produto, consiga obter sucesso no objetivo desejado. Vale aqui ressaltar que caso queira se aprofundar mais na teoria, a mesma pode ser encontrada na dissertação da qual este produto faz parte.

Para facilitar a aplicação do produto segue a definição dos conceitos a serem trabalhados ao longo do roteiro:

Ondas: São perturbações que se movem em um meio material ou no vácuo e que transportam energia, sem transportar matéria. Elas podem ser classificadas de acordo com a sua natureza, perfil de propagação e direção de propagação.

Som: O som é uma onda mecânica e como tal precisa de um meio para se propagar. O som não se propaga no vácuo.

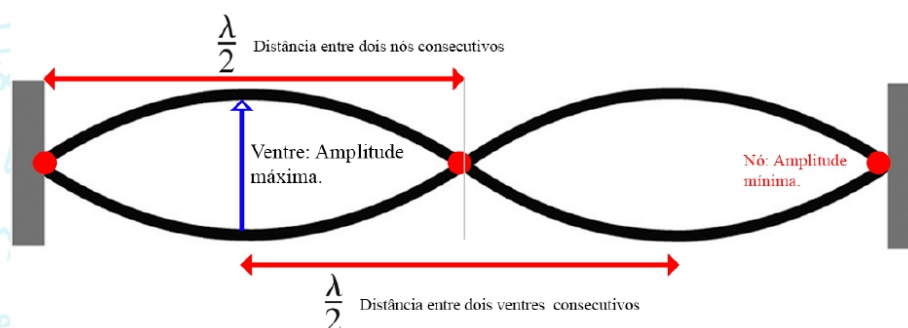
Ondas Periódicas: Ocorre quando vários pulsos idênticos são emitidos sucessiva e periodicamente. Por exemplo, uma máquina que executa um movimento de sobe e desce na extremidade livre de uma corda, em intervalos de tempos iguais, estará provocando uma onda periódica.

Ondas Estacionárias: é formada quando se superpõem duas ondas iguais, propagando-se com a mesma direção mas com sentidos opostos e possuem suas extremidades fixas. A distância entre dois nós/ventre vale $\frac{\lambda}{2}$. Dois ventres estão em oposição de fase como mostra a figura 1.

Nós: Nas ondas estacionárias podem ser observados os nós e os ventres. Um nó em uma onda estacionária é um ponto onde a amplitude da onda é mínima. É o resultado da interferência destrutiva entre as ondas incidentes e refletidas que se encontram em um determinado ponto. Em um nó, as cristas e os vales das ondas se cancelam, resultando em uma amplitude zero como ilustrado na figura 1.

Ventres: em uma onda estacionária é um ponto onde a amplitude da onda é máxima. É o resultado da interferência construtiva entre as ondas incidentes e refletidas que se encontram em um determinado ponto. Nos ventres, as cristas das ondas se somam, criando uma amplitude máxima como ilustrado na figura 1.

Figura 1: Ventres e nós em uma onda estacionária.



Fonte: Próprio ator.

Classificação das Ondas:

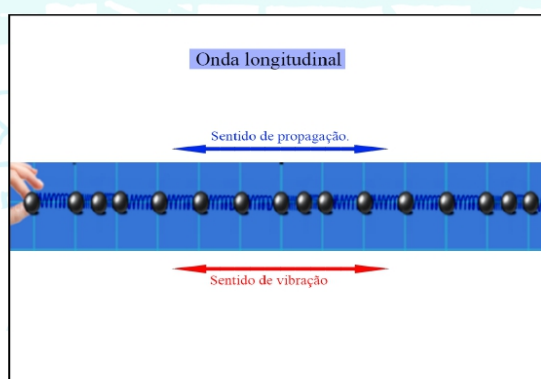
De acordo com a sua natureza:

- **Ondas Eletromagnéticas:** São aquelas que podem se propagar num meio material e no vácuo.
- **Ondas Mecânicas:** São aquelas que precisam de um meio material para se propagar.

De acordo com seu perfil de propagação:

- **Longitudinais:** Cada ponto do meio elástico se propaga numa direção paralela à direção de propagação da onda, como mostra a figura 2.

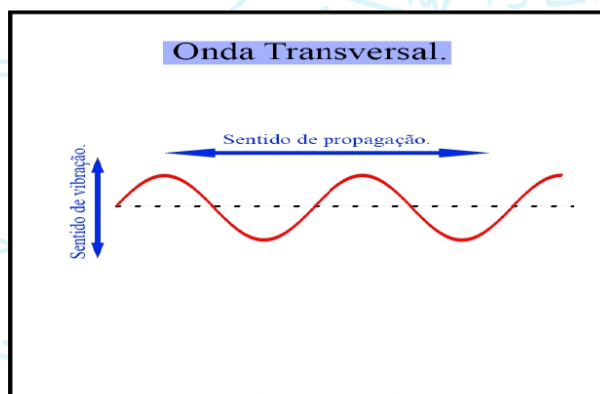
Figura 2: Exemplo de onda longitudinal



Fonte: Próprio autor.

- **Transversais:** Cada ponto do meio elástico se propaga numa direção perpendicular à direção de propagação da onda, como mostra a figura 3.

Figura 3: Exemplo de uma onda transversal



Fonte: Próprio autor.

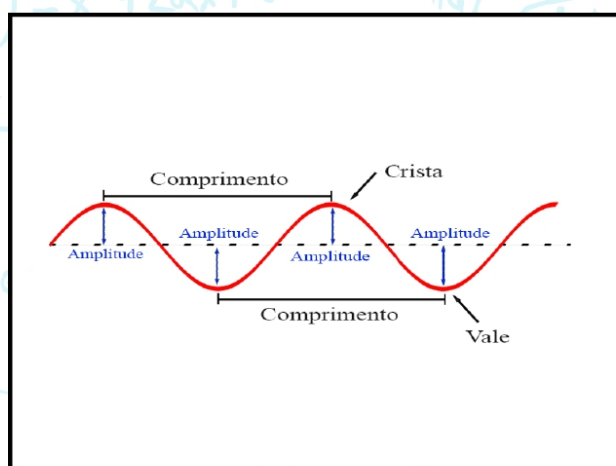
De acordo com sua direção de propagação:

- **Unidimensional:** A onda se propaga em apenas uma dimensão. Exemplo: A onda que se propaga em uma corda com suas extremidades fixas.
- **Bidimensional:** A onda se propaga em duas dimensões. Exemplo: A onda que se propaga na superfície de um lago.
- **Tridimensional:** A onda se propaga em três dimensões. Exemplo: Um som que se propaga pelo espaço no interior de uma sala.

Propriedades das ondas:

- **Crista:** Em uma onda transversal corresponde ao ponto mais alto da onda, como mostra a figura 4.

Figura 4: Propriedades da onda em uma onda transversal



Fonte: Próprio autor.

- **Vale:** Em uma onda transversal corresponde ao ponto mais baixo da onda, como já mostrado na figura 4.
- **Comprimento da Onda (λ):** O comprimento de uma onda é a distância que vai de uma crista a outra adjacente ou, equivalentemente, o comprimento de onda é a distância entre quaisquer duas partes idênticas e sucessivas da onda, como já mostrado na figura 4 .
- **Amplitude da Onda (A):** Fisicamente o termo amplitude se refere à distância entre o ponto médio da vibração e a crista (ou vale) da onda. Portanto, a amplitude é igual ao máximo afastamento em relação ao equilíbrio .
- **Frequência (f):** A taxa de repetição de uma determinada vibração é a sua frequência. A frequência de um pêndulo oscilante, ou de um objeto vibrando em uma mola, especifica o número de vibrações para lá e para cá que ele realiza em um determinado tempo (normalmente um segundo). Uma oscilação completa para lá e para cá constitui uma vibração.
 Se ela ocorre durante um segundo, a frequência é de uma vibração por segundo. Se ocorrem duas vibrações a cada segundo, a frequência é de duas vibrações por segundo.
 A unidade de frequência do SI é chamada de hertz (Hz), em homenagem a Heinrich Hertz, que demonstrou a existência das ondas de rádio, em 1886. Uma vibração por segundo é 1 hertz; duas vibrações por segundo equivalem a 2 hertz e assim por diante .
- **Período (T):** O período de uma vibração ou de uma onda é o tempo que dura uma oscilação completa. Se a frequência de um objeto é conhecida, seu período pode ser calculado, e vice-versa . ($f = \frac{1}{T}$ ou $T = \frac{1}{f}$)
- **Velocidade de propagação (v):** A velocidade da onda está relacionada à velocidade com a qual a energia se propaga de um ponto ao outro da onda.

Podemos ainda definir a velocidade de propagação de uma onda como o produto do seu comprimento com a sua frequência. ($v = \lambda \cdot f$)

- **Velocidade de uma onda transversal em uma corda (v):** É definida como a raiz quadrada do quociente da tensão na corda pela sua densidade linear.

$$(v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}).$$

- **Frequência de uma onda transversal em uma corda com suas extremidades fixas:** A frequência pode ser definida como o produto do inverso do comprimento da onda com a raiz quadrada do quociente da tensão na corda pela sua densidade linear. ($f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$).

- **Frequência do primeiro harmônico em uma corda com suas extremidades fixas:** A frequência pode ser definida como o produto do inverso do dobro do comprimento da corda, pela raiz quadrada do quociente da tensão na corda pela sua densidade linear. ($f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$).

- **Som e Ressonância:** Sears et al. (2018) descreve, que a ressonância pode ocorrer quando uma força que varia periodicamente é aplicada a um sistema que possui múltiplos modos normais. Pode-se dizer que a ressonância ocorre quando um corpo é excitado por alguma força externa em sua frequência natural de oscilação. O que faz com que suas oscilações sejam amplificadas, ocasionando assim um aumento na amplitude das suas oscilações.

- **Relação Ressonância, Instrumento e Som:** Ao tocar o violão, uma onda mecânica transversal se propaga na mesma, a energia é então transmitida para as partes do violão que estão diretamente em contato com as cordas, o rastilho e o cavalete, transmitem essa vibração para o tampo superior. Como os tampos são projetados para que possam agir como membranas, a vibração do tampo superior faz com que o ar, comece a vibrar dentro da caixa harmônica, essa vibração sofrerá diversas reflexões nos tampos e parede que compõem a caixa harmônica do violão, ocasionando então uma ressonância

no interior da caixa harmônica, amplificando essas vibrações e transformando a onda inicial da corda em um som audível.

A ressonância e amplificação do som, dependerá da qualidade do material que é feito o violão, sendo que algumas madeiras são melhores do que outras para transmitir essas vibrações.

Características Fisiológicas do som:

- **Intensidade Sonora:** É a qualidade através da qual podemos distinguir um som forte de um som fraco; ela está relacionada a quantidade de energia que a onda sonora transporta, que por sua vez está relacionada à amplitude de vibração da fonte numa certa frequência .
- **Altura:** A altura de um som é a qualidade através da qual podemos distinguir um som grave de um agudo, e está relacionada à sua frequência; quanto menor a sua frequência, mais grave ele é .
- **Timbre:** é a qualidade através da qual podemos distinguir dois sons de mesma altura e mesma intensidade, emitidos por instrumentos musicais diferentes.

O timbre está associado ao aspecto da onda sonora e aos harmônicos que acompanham o som fundamental, que são diferentes de instrumento para instrumento.

3. Referencial didático pedagógico

Para a elaboração da sequência didática foi utilizada a metodologia dos 3 momentos pedagógicos (3 MPs), construída através dos trabalhos apresentados no livro *Física* de Demétrio Delizoicov e José André Angotti (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a). A opção por essa metodologia específica ocorreu pela forma com que a mesma pode ser aplicada no contexto da sala de aula, ou seja, na estruturação do conhecimento a partir de curiosidades comuns dos estudantes, permitindo ao

professor através desta situação chave, fazer a transição de um conhecimento ou curiosidade no sentido de senso comum para o aprofundamento e construção do conhecimento científico sobre o mesmo tema. Nessa metodologia parte-se de conceitos do cotidiano e que são comuns aos alunos, sendo elevados em nível de reflexão e desenvolvimento de novos conceitos correlatos, culminando numa posterior aplicação em diferentes contextos, sempre com a orientação e facilitação do professor.

A dinâmica dos 3 MPs é definida por Delizoicov e Angotti (1990a) da seguinte maneira:

Problematização Inicial: O ponto inicial da proposta de ensino, sendo este o momento que será utilizado pelo professor para questionamentos e lançamento de dúvidas aos alunos sobre o conceito inicial que deseja ser abordado. É aqui que as questões ou situações reais de conhecimento dos alunos começam a ser envolvidas nos temas. É nesse momento em que os alunos são desafiados a explicar sobre o que pensam a respeito das situações levantadas, para que dessa maneira o professor consiga saber o que eles pensam a respeito dos temas. Um dos objetivos desse momento é propiciar uma reflexão crítica do aluno a respeito do tema, ao interpretar as situações propostas na discussão, fazendo assim com que o mesmo venha a sentir a necessidade de adquirir outros conhecimentos que eles ainda não detêm, para dessa maneira ter a total compreensão do tema apresentado inicialmente. Sobre as questões levantadas nesse momento, os autores explicam que elas devem estar diretamente ligadas com o conteúdo que deseja ser estudado.

Organização do Conhecimento: Esse é o momento onde o professor usará de todo o seu cabedal metodológico para gerir e orientar a transição dos alunos, partindo do conhecimento de senso comum, discutido na problematização inicial, para se alcançar o conhecimento necessário para a construção e obtenção do conhecimento epistemológico acerca do tema trabalhado. Essa organização deve ser preparada e desenvolvida em função dos objetivos definidos pelo professor, de acordo com as aulas necessárias para a realização do mesmo. Os autores aconselham que para esse momento o professor use as mais diversas atividades, como: exposição, experimentos, discussões, etc.

Aplicação do Conhecimento: É nesse momento onde o professor irá, através de ferramentas sistemáticas, investigar quais os conhecimentos o aluno foi capaz de incorporar ao longo da proposta de ensino. É aqui que o professor conseguirá através de uma abordagem sistemática observar melhor quais os conhecimentos que foram incorporados pelo aluno, quais ele consegue utilizar para a análise e interpretação do tema relacionados à situação inicial e quais ele por algum motivo não foi capaz de assimilar.

O que se pretende com esse momento, segundo os autores, é capacitar os alunos à aplicação do conhecimento, para que possam relacionar as situações reais com conceituação científica, ao invés do que meramente encontrar uma solução e aplicar algoritmos matemáticos.

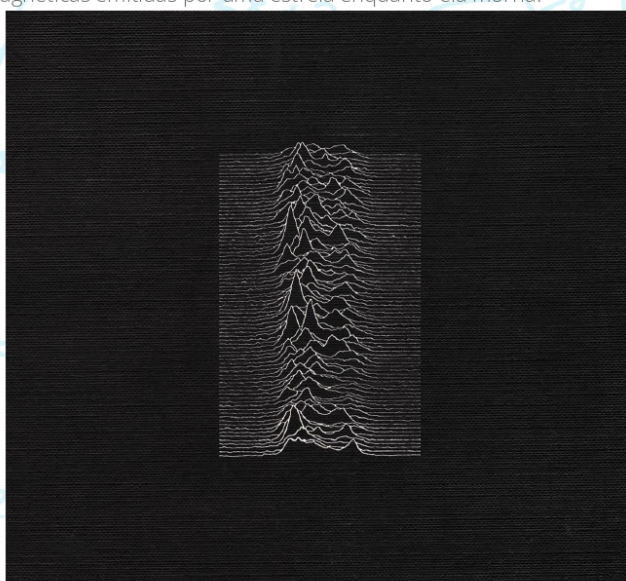
4. Roteiros

CRONOGRAMA

TÍTULO DA AULA	PROPÓSITOS DE ENSINO
<p>Aula 1- <i>Sound of Silence</i>: Sondando as Concepções Prévias dos Alunos sobre Ondas Sonoras e Instrumentos Musicais</p>	<p>Sondagem das concepções prévias dos alunos em relação aos diferentes tipos de instrumentos musicais e suas diferenças. Relacionar o som com ondas e introduzir conceitos fundamentais ao seu estudo.</p>
<p>Aula 2- <i>Take your protein pills and put your helmet on</i>: Reforçando os conceitos iniciais e iniciando a viagem no mundo das ondas.</p>	<p>Reforçar os conceitos introduzidos na aula 1, bem como a apresentação de novos conceitos relacionados à ondas.</p>
<p>Aula 3- <i>Hey mãe! Eu tenho uma guitarra elétrica...</i></p>	<p>Realização de experimento prático com um instrumento musical arcaico e discussão das observações realizadas. Comparação com os resultados esperados para as medidas.</p>
<p>Aula 4- <i>5... 4... 3... 2... 1... Pare! Esperem aí, onde é que vocês pensam que vão?</i></p>	<p>Mostrar o timbre como sendo uma diferença de "qualidade sonora" característica de cada instrumento, além de mostrar o que são harmônicos e como eles interagem na formação do som. Construção de um mapa conceitual individual como forma de avaliação dos alunos.</p>
<p>Aula 5- <i>Boa viagem até outra vez...</i></p>	<p>Aplicação de uma avaliação escrita.</p>

AULA 1: *The sound of Silence...*

Capa do álbum *Unknown Pleasures*, de 1979, da banda de rock inglesa Joy Division. De maneira resumida a imagem representada na capa é uma visualização monocromática das ondas eletromagnéticas emitidas por uma estrela enquanto ela morria.



Fonte: <https://www.virgula.com.br/musica/voce-sabe-o-que-a-capa-do-unknown-pleasures-do-joy-division-significa-cientistas-descobrem/>

"O encontro de dois mundos: Uma sequência didática sobre o estudo de fenômenos ondulatórios na música.

90 minutos




Aula 1

The sound of silence

Propósitos de ensino: Sondagem das concepções prévias dos alunos em relação aos diferentes tipos de instrumentos musicais e suas diferenças. Relacionar o som com ondas e introduzir conceitos fundamentais ao seu estudo.

Duração	Momentos	Procedimento	Recursos	Material de apoio
30 minutos	1º Momento - Problematização Inicial	<p>Para iniciar a sequência você deverá levantar a seguinte questão para a turma:</p> <p><i>"Quais são os instrumentos musicais que vocês conhecem?"</i></p> <p>As respostas deverão ser anotadas no quadro, a fim de ter um panorama geral destas e de modo a organizá-las para serem posteriormente retomadas.</p> <p>A seguir, é realizada a seguinte pergunta.</p> <p><i>"Quais características os diferenciam?"</i></p> <p>Novamente as respostas devem ser anotadas no quadro, relacionando-as com os instrumentos citados anteriormente.</p> <p>Para melhor organização, classificação e visualização pelos alunos das diferentes famílias dos instrumentos, você deverá construir no quadro um fluxograma em conjunto com os alunos (Figura 1, disponível no baú 1, na página 20), que também deverá ser reproduzido por eles em seus cadernos.</p> <p>Após a classificação dos instrumentos, o professor deve mostrar aos alunos um instrumento de cada família, a fim de ilustrar na prática as diferenças entre as famílias.</p>	3 instrumentos musicais de diferentes famílias, um de corda (exemplo, violão), um de percussão (exemplo, caixa de bateria) e outro de sopro (exemplo, escaleta)	Figura 1 (pág. 20).

10 minutos	1º Momento - Problematização Inicial	<p>Agora você fará aos alunos a seguinte questão: "O que todos os instrumentos que foram separados em famílias possuem em comum?" Isso deverá servir de subsídio para que os alunos concluaem que eles possuem em comum o fato de produzirem o som.</p> <p>Na sequência questione-os sobre "O que é o Som?" e "O que isso tem haver com a Física?"</p> <p>Esse será o link entre o que os alunos têm de conhecimento prévio e os conceitos a serem estudados ao longo do produto educacional, pois é aqui que o professor irá começar a mostrar as definições físicas pertinentes de maneira mais rigorosa.</p>		
20 minutos	2º Momento - Organização do Conhecimento	<p>A seguir, o professor deverá conduzi-los até a resposta correta, em que definirá o som como uma onda mecânica e iniciará a explicação dos conceitos primários desta. Para iniciar essa abordagem, poderá fazer aos alunos a seguinte pergunta: "Quais tipos de onda eles conhecem, além do som?"</p> <p>Após esse breve levantamento, você então poderá iniciar explicando que as ondas podem ser classificadas de acordo com algumas características particulares.</p> <p>Para essa explicação você poderá usar uma ou usar o vídeo : O que são ondas? disponível através do qr code O que são ondas, presente no baú 1 na página 22..</p> <p>Com o vídeo ou com a mola você poderá mostrar a classificação das ondas de acordo com a sua direção de propagação, longitudinais e transversais. Caso tenha uma mola para usar, poderá ainda pedir aos alunos para observarem na onda transversal os pontos mais altos e mais baixos desta, definindo-os como crista e vale, respectivamente.</p> <p>É importante já nesse momento iniciar uma discussão preliminar com os alunos sobre as ondas que surgem ao se tocar um instrumento de corda, sendo estas exemplos de ondas transversais, e a onda sonora produzida pelo vibrar da corda e que se propaga pelo ar, sendo esta uma onda do tipo longitudinal.</p> <p>Na sequência você pode citar as dimensões de propagação das ondas utilizando os seguintes</p>	projektor multimídia/ smart tv.	Vídeo: O que são Ondas.

	<p>exemplos:</p> <p>Uma onda se propagando numa corda que só pode mover-se para frente e para trás é um tipo de onda unidimensional. Uma onda que se propaga na superfície de um lago é um tipo de onda bidimensional. O som da sua fala que pode ser ouvido de qualquer ponto da sala de aula é um tipo de onda tridimensional.</p> <p>Para ilustrar esse último exemplo, você pode falar de lado, de frente, abaixado e subindo em uma cadeira, mostrando assim aos alunos que mesmo sua voz sendo emitida em direções diferentes eles foram capazes de ouvi-la, provando assim essa onda se propaga nas três dimensões espaciais.</p>		
	<p>Na sequência, o professor irá orientar os alunos que abram a simulação Ondas introdução, disponível no QR Code 2, no baú 1, página 22. Por se tratar do primeiro contato deles com a simulação é importante que o professor oriente os mesmos e permita que eles mexam na simulação por alguns minutos para que se familiarizem com os seus controles e sua interface. Após esses breves minutos (entre 2 a 4 minutos), o professor deve então iniciar a orientação para o estudo dos conceitos descritos a seguir:</p> <p>O primeiro conceito a ser trabalhado é o conceito de pulso de onda. Para isso os alunos, após abrirem a simulação, irão escolher a opção [Simulação Ondas na água], a qual representa uma onda que se propaga na superfície da água. A seguir, deverão selecionar a opção pulso de onda na simulação a qual é representada pelo ícone . (Botão Pulso). Com o pulso selecionado, eles deverão clicar no botão  (Botão Play), verificando então que nada acontece. Oriente então que os alunos cliquem no botão verde presente na torneira  (Botão Torneira). Peça que os alunos repitam essa ação por algumas vezes seguidas, aumentando</p>	<p>Projetor, celular ou sala de informática</p>	<p>Simulação Waves Intro</p>

gradativamente a frequência com a qual clicam no ícone. Peça também que eles mudem a visualização da vista superior para vista lateral, para que assim consigam observar o que está acontecendo de ambas as perspectivas.

Após isso, questione-os sobre o que está aparecendo na tela. Caso eles respondam que o que eles estão vendo é uma Onda se propagando, explique que o que eles estão vendo nesse momento são apenas pulsos de uma onda e que as ondas são formadas por sucessivos pulsos de ondas.

Peça então para que eles selecionem o botão



(**Botão Onda**), para que então possam notar a diferença entre os dois casos citados (pulso e onda).

Na sequência, peça para que eles coloquem a simulação no formato Onda e com a visão lateral ativada, mostre a eles que as ondas possuem um ponto mais alto e um ponto mais baixo, e que esses pontos são denominados, respectivamente, como **Crista** e **Vale** (assim como já ilustrado no exemplo da mola).

Mostre também que quando a simulação está com a opção **visão superior** ativada, os círculos mais escuros representam os Vales e os mais claros as Cristas.


Mostre aos alunos a partir da **vista lateral** da simulação o conceito de **Amplitude de Onda**, como no exemplo da **Figura 2** (disponível no baú 1, na página 20). Defina-a como a distância entre um ponto máximo (crista) ou mínimo (vale) até um ponto central médio entre a crista e o vale.

Mostre ainda aos alunos que ao selecionarmos a vista superior, a amplitude será mostrada graficamente através da intensidade das cores dos círculos que representam as Cristas (mais intensas) e os Vales (menos intensos).

Depois disso, peça aos alunos para selecionar a ferramenta trena e medir a distância entre dois vales e ou duas cristas, com a opção vistas superior e depois lateral ativadas, como mostram as **Figuras 3 e 4** (disponíveis no baú 1, nas páginas 20 e 21). disponível nos anexos, fazendo o objetivo é fazer com que eles assim

com que eles consigam medir os comprimentos de onda de maneira prática. Aproveite esse momento para definir com eles o que é o comprimento de onda.

Na sequência, para finalizar essa aula, peça aos alunos que abram a simulação na aba Som

representada pelo ícone . Peça para que eles deixem ativada a opção **Ambas**, a qual mostra graficamente a onda sonora e o comportamento das partículas presentes nessa onda.

Repita a explicação dos mesmos conceitos já trabalhados na aba Água, aproveitando a oportunidade para mostrar como a amplitude está relacionada com a intensidade do som, sendo que aumentando a amplitude da onda o som na simulação passará a ser mais intenso.

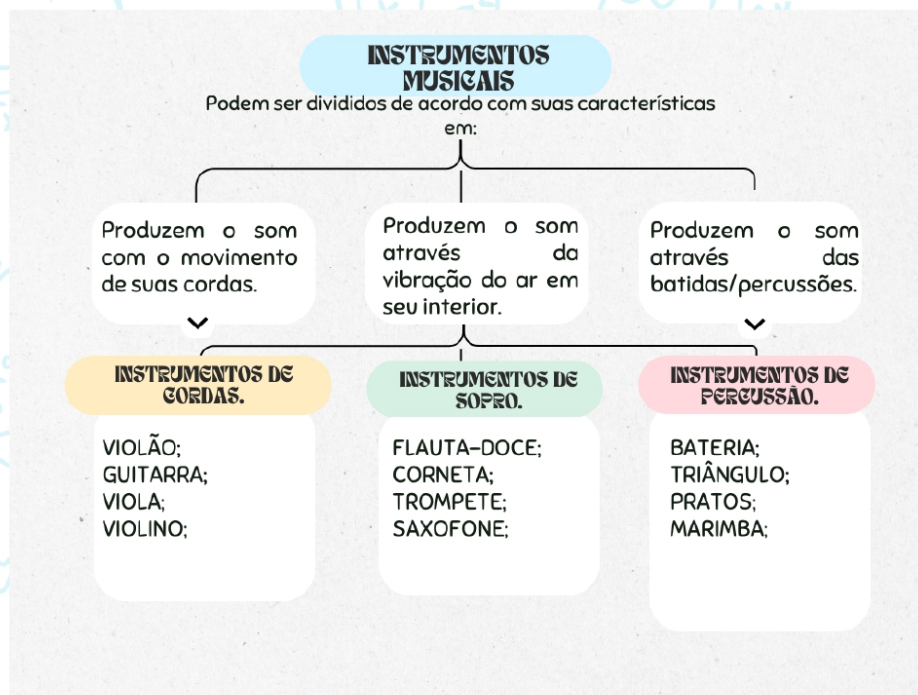
Mostre aos alunos que no caso das ondas sonoras temos regiões que possuem poucas partículas agrupadas e outras onde temos muitas partículas agrupadas, e que essas regiões vão mudando com o movimento da onda. Explique aos alunos que essas regiões são chamadas de zonas de rarefação (poucas partículas agrupadas/pouca pressão) e zonas de compressão (muitas partículas agrupadas/muita pressão).

Observações:

Para essa parte da aula (e outras aulas dessa sequência) o ideal é que os alunos tenham acesso a computadores ou tablets/celulares com acesso a rede de internet, para que possam controlar a simulação sob a orientação do professor. Essa interação direta dos alunos com a simulação poderá tornar a aula mais interessante para eles, além de promover um melhor resultado em termos de aprendizagem. Caso os alunos não venham a ter esse acesso, o professor poderá usar algum projetor multimídia ou computador ligado a uma TV para que todos os alunos possam ver as simulações e assim acompanhem a dinâmica da aula.

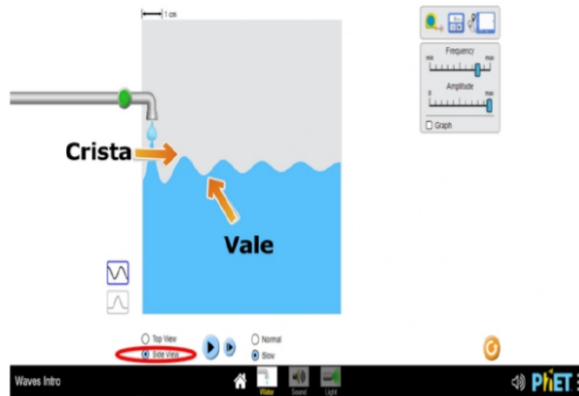
BAÚ I:

Figura 1: Fluxograma da classificação dos instrumentos em famílias.



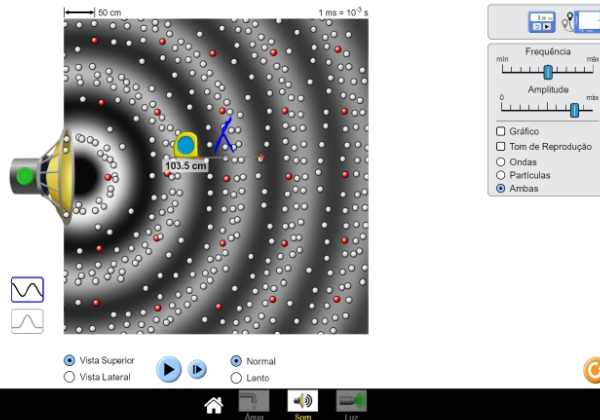
Fonte: O próprio autor.

Figura 2: Crista e vale da onda na simulação.



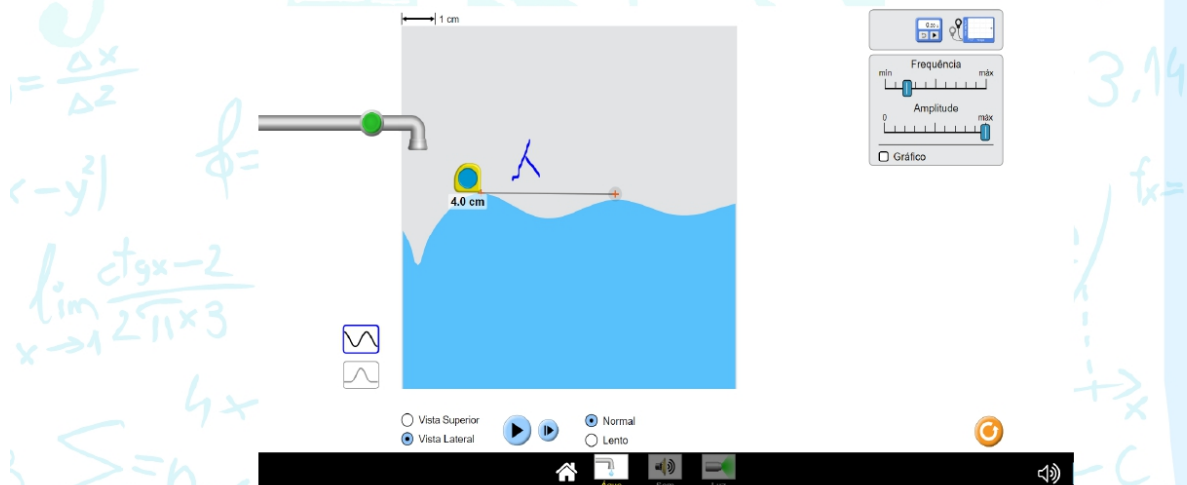
Fonte: O próprio autor.

Figura 3: Comprimento da onda na vista superior.



Fonte: O próprio autor.

Figura 4: Comprimento da onda na vista lateral..



Fonte: O próprio autor.

QR CODE 1: O QUE SÃO ONDAS?



QR CODE 2: SIMULAÇÃO ONDAS INTRO



Observação: Os baús servem como um “depósito” de apêndices, existe um ao final de cada roteiro, onde estão colocados todo material extra necessário e citado no roteiro, correspondente a cada encontro.

AULA 2: **T**ake your protein pills and put your helmet on...

Capa do álbum *The Dark Side of the Moon* lançado em março de 1973, pela banda inglesa de rock progressivo Pink Floyd. A famosa capa ilustra o efeito de dispersão da luz branca, que ao passar pelo prisma sofre refração e é decomposta nas cores do arco-íris (cores do espectro visível).



Fonte: https://www.amazon.com.br/Dark-Side-Moon-Disco-Vinil/dp/B01LTHN0DG/ref=asc_df_B01LTHN0DG/?tag=googleshopp00-20&linkCode=df0&hvadid=379793377859&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=13737917105571030727&hvpon=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=20105&hvtargid=pla-406130932785&psc=1

“O encontro de dois mundos: Uma sequência didática sobre o estudo de fenômenos ondulatórios na música.

90 minutos

Aula 2

Take your protein pills and put your helmet on...

Propósitos de ensino: Reforçar os conceitos introduzidos na aula 1, bem como a apresentação de novos conceitos ondulatórios como frequência, período, ondas periódicas, entre outros.

Duração	Momentos	Procedimento	Recursos	Material de apoio
10 minutos	2º Momento - Organização do Conhecimento	<p>Para iniciar a segunda aula, o professor pode optar por levar um ou mais instrumentos musicais acústicos de qualquer família (violão, caixa, escaleta, etc.). Com o instrumento em mãos, o professor inicia a aula tocando notas simples no instrumento com intensidades variadas, com o objetivo de discutir com os alunos o conceito de intensidade sonora sob uma perspectiva musical.</p> <p>Na sequência, questione os alunos sobre qual característica sonora está variando à medida em que você toca o instrumento mais forte ou mais fraco. Espera-se que com isso eles consigam relacionar a ideia de intensidade a ideia de senso comum de volume alto e volume baixo.</p>		
30 minutos	2º Momento - Organização do Conhecimento	<p>Continuando, o professor usará a simulação Ondas introdução (disponível na página 22), já utilizada na primeira aula, dessa vez trabalhando os conceitos de frequência, período e comprimento de uma onda. Para isso ele pode tomar o seguinte caminho:</p> <p>Com a simulação aberta na aba Água, ative a visualização lateral e o ícone Onda, coloque o controle de visualização da amplitude no máximo e o da frequência no mínimo, peça então aos alunos que eles apertem o play na simulação, iniciando assim a queda das gotas da torneira.</p> <p>Deve-se esperar em torno de 30 segundos para que os alunos percebam o padrão resultante, e</p>	Projetor, celular ou sala de informática	Simulação Waves Intro

então aumenta-se sua frequência, repetindo esse processo por 4 vezes até uma frequência máxima.

Com isso espera-se que os alunos compreendam empiricamente que ao se aumentar a frequência da onda, ocorrerá a formação de um número maior de cristas e vales no mesmo espaço e, portanto, uma diminuição no comprimento da onda. Nesse momento será possível ilustrar a relação de proporção inversa entre comprimento e frequência.

O professor pode ainda conduzir os alunos a chegarem na definição de período. Para isso ele deve pedir que os mesmos observem o tempo em que uma gota leva para cair logo após a outra, explicando aos alunos que esse tempo entre um gotejar e outro é igual ao tempo em que leva para se formar uma vibração, ou pulso de onda completo, e que esse tempo é chamado de período.

O professor deve chamar a atenção dos alunos para o fato de que se eles manterem a frequência constante, o tempo da queda entre uma gota e outra será igual. Assim, o professor poderá definir esse tipo de onda, formada por pulsos que se formam e se propagam em períodos iguais de tempo, como Ondas Periódicas.

Além disso, o professor deve mostrar que ao se aumentar a frequência o tempo (período) entre um gotejar e outro diminui. Para isso ele pode pedir aos alunos para cronometrar o tempo entre um gotejar e outro, em diversas frequências, mostrando assim novamente sob uma perspectiva quantitativa e matemática, que frequência e período são inversamente proporcionais.

Após trabalhar esses conceitos com a simulação na aba **Água**, o professor deverá pedir aos alunos para abrirem a aba **Som**.

Na aba Som eles deverão repetir o mesmo processo de diminuir e aumentar a frequência, mas dessa vez o professor deverá chamar a atenção para que eles observem que nesse caso o que está criando a onda não é a queda das gotas, mas o vibrar da membrana do alto-falante, e que ao aumentar a frequência da

		<p>onda, o auto-falante passa a vibrar de uma maneira tal que demora menos tempo para ele consiga realizar um movimento completo de ir e vir.</p> <p>Para finalizar essa parte, o professor pede para que eles ativem a função Play Tone e variem a frequência. Após esse breve experimento, o professor deve questionar o que aconteceu com o som que eles ouvem ao se aumentar a frequência ou diminuir a frequência.</p>	
25 minutos		<p>A partir desse questionamento, o professor discute as qualidades sonoras graves e agudos que estão relacionadas às frequências de vibrações que as formam.</p> <p>Na sequência o professor deverá utilizar um instrumento de cordas ou sopro e discutirá com os alunos os conceitos de notas musicais e suas relações com o conceito de frequência de uma onda. Para isso ele pode iniciar mostrando as notas no braço de um violão, ou as posições num instrumento de sopro, mostrando como essas notas se comportam ao se mudar as posições.</p> <p>O professor deve mostrar aos alunos que duas notas de frequências diferentes e características diferentes, uma grave e outra aguda, podem possuir o mesmo nome, dependendo da relação entre essas frequências.</p> <p>Para isso o professor deve utilizar um aplicativo de afinação no celular como medidor de frequência, a fim de corroborar sua explicação.</p>	Instrumento musical da preferência do professor.

25 minutos

Para finalizar a aula 2, o professor irá trabalhar os conceitos relacionados ao campo auditivo dos animais, além da intensidade do som e sua relação com a audição humana.

Para tanto, o professor deve fazer a seguinte pergunta aos alunos: "O ser humano é capaz de ouvir todas as frequências?"

Após a discussão, recomenda-se que ele abra um gerador de tom em [Gerador de tom](#) disponível no baú 2, no QR C0de 3 e varie sua frequência, começando nos tons mais graves até chegar aos mais agudos. Fazendo com que os alunos percebam que não são capazes de ouvir sons muito graves (aproximadamente abaixo dos 20 Hz) e nem muito agudos (acima de 20 kHz).

A seguir, ele deve discutir que essa gama de valores é chamada de campo auditivo humano e questionar se existem animais que são capazes de ouvir sons acima e abaixo desses valores, mostrando a **Figura 5** (disponível no baú 2 na página 28), que ilustra alguns animais que são capazes de ouvir esses Infrasons e Ultrasons.

Ao usar o gerador de tom, os alunos tendem a reclamar do barulho causado pelos sons mais agudos. Nesse momento, o professor pode aproveitar a situação para falar um pouco sobre a intensidade do som sob uma perspectiva física, além de aspectos da saúde auditiva.

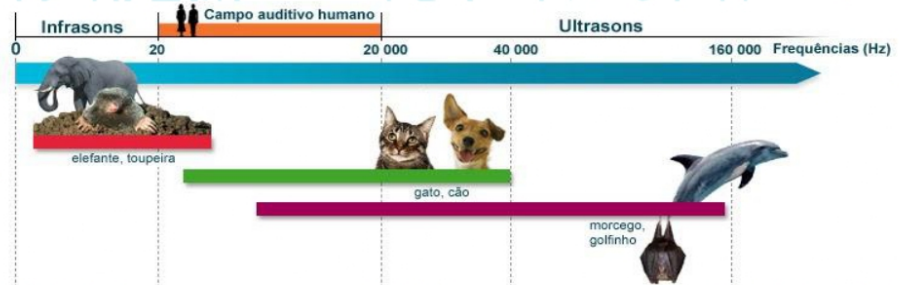
Além disso, o professor pode nesse momento também falar sobre a definição de potência sonora e como esse conceito se relaciona com os danos causados à saúde auditiva pelo uso de fones de ouvido. Na sequência, o professor falará sobre o nível de intensidade sonora e a relação da escala decibel com a unidade W/m^2 .

A seguir, deverá ser apresentada a **Figura 6**, (disponível no baú 2, na página 28) a qual ilustra a classificação de risco da exposição aos sons de acordo com suas intensidades.

Por fim, o professor deverá tocar o instrumento com intensidades diversas, podendo mostrar com algumas músicas como a intensidade sonora se manifesta sob uma perspectiva musical, influenciando na dinâmica da música e podendo expressar sensações de alegria, tristeza, ira, etc.

BAÚ 2:

Figura 5: Campo auditivo de alguns animais.



Fonte: <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>

Figura 6: Intensidades e perigos por dB.



Fonte: <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>

QR CODE 3: Tom gerador



AULA 3: **H**ey mãe! Eu tenho uma guitarra elétrica...

Capa do disco IS THIS IT da banda The Strokes. Uma fotografia de faixas de partículas subatômicas em câmara de bolhas espectro visível).



Fonte: <https://www.tenhomaisdiscosqueamigos.com/2016/07/31/is-this-it-ha-15-anos-the-strokes-lancava-o-disc-o-que-salvou-o-rock-and-roll/>

"O encontro de dois mundos: Uma sequência didática sobre o estudo de fenômenos ondulatórios na música.

90 minutos

Aula 3

Hey mãe! Eu tenho uma guitarra elétrica...

Propósitos de ensino: Realização de experimento prático com um instrumento musical arcaico e discussão das observações realizadas. Comparação com os resultados esperados para as medidas.

Duração	Momentos	Procedimento	Recursos	Material de apoio
10 minutos	2º e 3º momentos: Organização do Conhecimento/ Aplicação do conhecimento	<p>Você irá iniciar a aula entregando os instrumentos arcaicos aos alunos, o qual possui um manual passo para a sua fabricação nos apêndices deste produto na página 48.</p> <p>Explique aos alunos que eles deverão realizar as medidas de duas maneiras diferentes.</p> <p>A primeira, fixando a cordas nas suas duas extremidades com o uso de uma tarraxa e de um parafuso e, a seguir, variando seu comprimento com o uso de um pedaço de madeira, conforme explicado no vídeo de apoio cujo link de acesso encontra-se no baú 3 na página 32, junto do QR Code 4 para acesso ao mesmo..</p> <p>A segunda maneira é fixando apenas uma ponta corda no parafuso, com a outra ponta da corda sendo fixada em uma garrafa com água, sendo que as medidas serão feitas com quantidades diferentes de águas no interior desta, conforme consta no vídeo de apoio, cujo link de acesso também se encontra em anexos.</p> <p>Observação 1: Fica a cargo do professor a opção em como dividir a turma para trabalhar com o instrumento, entretanto, aconselha-se que cada grupo seja composto por no mínimo duas pessoas e no máximo 4, pois assim ficará mais fácil de realizar as medidas. Tudo dependerá de quantos instrumentos o professor confeccionou e de quantos alunos compõem a turma.</p>	Instrumento Arcaico, Garrafas pets, Cordas de nylon, ou cordas velhas de violão/guitarra.	Manual de Construção do instrumento arcaico, Links para o vídeo com a explicação.

30 minutos	2º e 3º momentos: Organização do Conhecimento/ Aplicação do conhecimento	<p>Após a explicação de como realizar os experimentos, mostre aos alunos como usar o celular para realizar as medidas da frequência com o celular. Peça para que os grupos realizem ao menos 5 medidas mudando o comprimento e 5 medidas mudando a tensão na corda, anotando os resultados em uma tabela.</p> <p>Observação 2: Caso os alunos possuam familiaridade com planilhas eletrônicas, o professor pode pedir para que estes criem suas tabelas diretamente nas planilhas, para que em seguida construam seus próprios gráficos a partir dos dados. Caso isso não seja possível, o professor pode ir graficando os dados obtidos pelos grupos enquanto estes vão realizando suas medidas. Essa atividade objetiva facilitar a visualização da dependência entre as grandezas mensuradas.</p>	Instrumento Arcaico, Garrafas pets, Cordas de nylon, ou cordas velhas de violão/guitarra. Computador, Software de planilhas.	Links para o vídeo com a explicação.
50 minutos	2º e 3º momentos: Organização do Conhecimento/ Aplicação do conhecimento	<p>Para finalizar essa aula o professor deve então pedir os grupos analisarem seus dados registrando suas observações e possíveis inferências a respeito dos mesmos.</p> <p>Deixe que dialoguem entre si, questionando se esses dados sugerem resultados esperados, como por exemplo, ao se aumentar a quantidade de água na garrafa a frequência aumentou ou diminuiu, ao se diminuir o comprimento a frequência aumentou ou diminuiu.</p> <p>Caso o professor possua alguns instrumentos de cordas, ele pode pedir aos alunos para repetir o experimento com esse outro instrumento, variando a tensão e/ou o comprimento da corda e medindo suas frequências. Nesse caso, será possível comparar os dados obtidos no instrumento arcaico com o instrumento musical.</p> <p>Ao fim da discussão, apresente aos alunos a equação que relaciona a frequência com o comprimento e tensão na corda, mostrando então quais eram os resultados esperados e por quais motivos eventualmente ocorreram erros.</p>	Instrumento Arcaico, Garrafas pets, Cordas de nylon, ou cordas velhas de violão/guitarra. Computador, software de planilhas. Violão/Guitarra/Contra-baixo	

BAÚ 3:

QR CODE 4: Instruções para a manipulação do instrumento arcaico.



O vídeo traz instruções de como se deve usar o instrumento arcaico, para que o aluno consiga a realização das medidas de maneira adequada.

AULA 4: 5

... 4... 3... 2... 1... Parem! Esperem aí, onde é que vocês pensam que

vão?

Capa do álbum *Meddle*, da banda inglesa de rock progressivo Pink Floyd. A capa mostra a fotografia de Bob Dowling que representa uma orelha debaixo d'água coletando ondas sonoras.



Fonte: <https://ultimateclassicrock.com/pink-floyd-meddle/>

“O encontro de dois mundos: Uma sequência didática sobre o estudo de fenômenos ondulatórios na música.

90 minutos

Aula 4

5... 4... 3... 2... 1...
Parem! Esperem
aí, onde é que
vocês pensam
que vão?

Propósitos de ensino: Mostrar o timbre como sendo uma diferença de “qualidade sonora” característica de cada instrumento, além de mostrar o que são harmônicos e como eles interagem na formação do som. Por fim, aplicação de uma avaliação escrita a respeito dos conceitos trabalhados ao longo das 4 aulas.

Duração	Momentos	Procedimento	Recursos	Material de apoio
30 minutos	2º momento: Organização do Conhecimento	<p>Para iniciar essa aula o professor deve perguntar aos alunos se quando eles fizeram a aula prática anterior, os sons produzidos pelos seus instrumentos eram iguais.</p> <p>Para complementar a pergunta, o professor passará o vídeo MIMO 2012 - OSBM (Orquestra Sinfônica de Barra Mansa) Parte 1 afinação disponível no Baú 4, QR Code 5, na página 38 onde uma orquestra está afinando seus instrumentos. O professor deverá então fazer a seguinte pergunta aos alunos: “Como eles conseguem afinar seus instrumentos sem o uso de equipamentos eletrônicos de afinação, sendo que esses instrumentos possuem características diferentes?”.</p> <p>O professor deve então ouvir as respostas dos alunos e, caso alguns fiquem com receio de responder errado, pode escolher aleatoriamente qualquer um dos alunos para responder. Essa eventual resposta servirá como ponto de partida para a discussão a respeito do que é o timbre de um instrumento.</p> <p>Após essa resposta o professor irá mostrar a Figura 7, disponível no baú 4, na página 38 a qual servirá de apoio para explicar a maioria dos sons musicais é formada pela superposição de muitos sons com frequências diferentes e que esses vários sons são chamados de componentes de frequência, ou simplesmente componentes. Que</p>		Vídeo da MIMO 2012 - OSBM (Orquestra Sinfônica de Barra Mansa) Parte 1 afinação

a frequência mais baixa deles, chamada de frequência fundamental, determina a altura da nota, e que aquelas componentes de frequência que são múltiplas inteiras da frequência fundamental são chamadas de harmônicos.

Nesse momento o professor deve explicar que diferentes harmônicos possuem alturas diferentes. Que um tom com frequência duas vezes maior do que a frequência fundamental é o segundo harmônico, um tom com três vezes a frequência fundamental é o terceiro harmônico e assim por diante. E por fim, que é a variedade das componentes de frequência que dão a uma nota musical seu timbre característico.

Para melhor ilustrar o que são os harmônicos em um violão por exemplo, o professor usará a simulação do site [Simulador de harmônicos](#) disponível no QR Code 6, no baú 4 na página 38, onde os alunos poderão ver os harmônicos em uma corda de violão

Após essa breve explicação a respeito da formação das ondas que compõem o som, o professor mostrará a **Figura 8**, disponível no baú 4 na página 39, a qual ilustra a sobreposição das ondas que compõem a mesma nota emitida por instrumentos diferentes.

O professor deve ainda chamar a atenção dos alunos sobre o formato das ondas da figura 8 e delas apresentarem um padrão de repetição em seus desenhos, explicando assim a diferença entre som e ruído.

Para finalizar essa aula o professor poderá mostrar na prática aos alunos como criar uma onda sonora através da sobreposição de harmônicos, a partir do simulador [Fourier: Construindo Ondas](#), disponível no QR Code 7, no baú 4, página 39.

Nessa dinâmica, o professor deve pedir aos alunos que construam diversas ondas independentes (harmônicos de uma onda fundamental) no simulador, variando sua amplitude, para que então consigam observar a contribuição de cada harmônico para a onda final em termos de forma e som gerado.

O simulador deverá ser aberto na aba **Discreta**. Logo após, o professor irá ativar o som da simulação e colocará a onda em função do espaço e tempo, como indicado na **Figura 9, disponível** no baú 4 na página 40. A seguir, o professor/aluno dará o play na simulação e começará a alterar as amplitudes de cada harmônico, com isso ele será capaz de observar no primeiro gráfico os harmônicos separados e no segundo a soma dos harmônicos em uma única onda. Os harmônicos estão dispostos na simulação do mais grave para o mais agudo. Além de poderem observar visualmente, os alunos poderão também ouvir a sobreposição dos harmônicos.

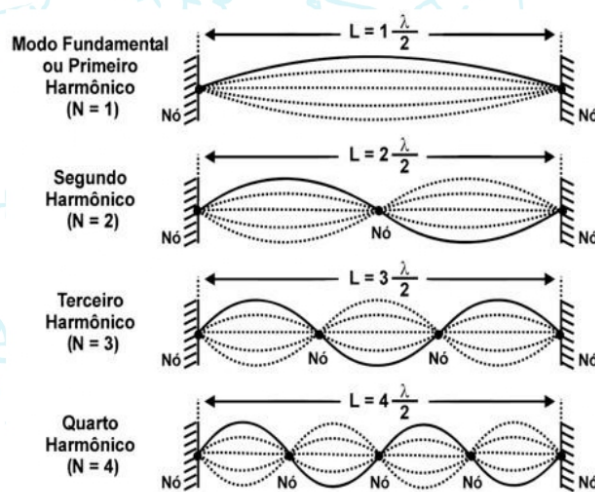
60 minutos	3º momento: Aplicação do Conhecimento	<p>Nessa parte da aula o professor irá orientar os alunos como criar um mapa conceitual e após pedirá aos alunos que construam um mapa conceitual sobre o que foi estudado. Para auxiliar na construção dos mapas o professor pode dar as seguintes orientações, como sugestão:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar o tema/conceito central: Começar escolhendo o tema ou conceito central do mapa conceitual. Esse será o ponto central a partir do qual você irá ramificar e conectar outros conceitos. 2. Listar os conceitos relacionados: Pensar nos conceitos ou ideias que estão diretamente relacionados ao tema central e anotar os de forma sucinta. Essas serão as ramificações do seu mapa. 3. Criar conexões: Estabelecer conexões entre os conceitos, usando linhas ou setas. Essas conexões podem indicar relações de causa e efeito, hierarquia, correlação, entre outros tipos de conexões lógicas. 4. Adicionar exemplos ou detalhes: Para enriquecer o mapa conceitual, você pode adicionar exemplos, detalhes ou definições a cada conceito ou conexão. Isso ajuda a fornecer mais clareza e compreensão. 5. Organizar hierarquicamente, se necessário: Se os conceitos possuem uma estrutura hierárquica, pode-se organizar o mapa conceitual de forma hierárquica, com conceitos mais amplos acima e conceitos mais específicos abaixo. 6. Revisar e refinar: Após criar o mapa conceitual inicial, revise-o e faça ajustes, se necessário. Certifique-se de que as conexões e os conceitos estejam claros e bem organizados. 	Modelo de mapa conceitual
------------	---	---	---------------------------

BAÚ 4:

QR CODE 5: Vídeo afinação orquestra



Figura 7: Harmônicos

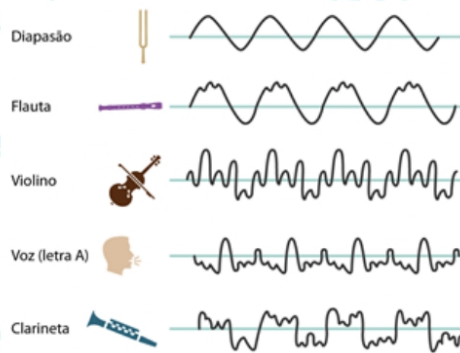


Fonte: <https://www.proenem.com.br/enem/fisica/ondas-estacionarias/>

QR CODE 6: Simulador de harmônicos em um violão



Figura 8: Instrumentos e suas ondas.



Fonte: <https://blog.explicae.com.br/enem/ondas-sonoras-enem>

QR CODE 7:Fourier:Construindo Ondas.



Figura 9: Simulação Fourier Making Waves, na aba discrete.



Fonte: O próprio autor

AULA 5: **B** *oa viagem até outra vez!*

Os Discos de Ouro da Voyager (em inglês, Voyager Golden Record) são discos fonográficos que estão a bordo de ambas as naves Voyager. Eles contêm sons e imagens selecionados como amostra da diversidade de vida e culturas da Terra e são dirigidos a qualquer forma de vida extraterrestre (ou seres humanos do futuro distante) que os encontrem.



Fonte: <https://www.wfmt.com/2019/03/22/earths-greatest-hits-producer-timothy-ferris-recalls-assembling-humanitys-definitive-playlist-for-the-voyager-golden-record/>

"O encontro de dois mundos: Uma sequência didática sobre o estudo de fenômenos ondulatórios na música.

90 minutos

Aula 5

Propósitos de ensino: Aplicação da avaliação escrita.

Boa viagem até outra vez...

Duração	Momentos	Procedimento	Recursos	Material de apoio
90 minutos	3º Momento: Aplicação do conhecimento	Esta aula é dedicada à aplicação da avaliação escrita. No baú 5 da página 43 até a página 46 está disponibilizado um modelo com sugestões de questões cuidadosamente escolhidas e separadas por temas para a realização da avaliação.		Modelo de questões.

BAÚ 5:

Sugestões de questões da avaliação escrita dividida em temas:

TEMA 1: ONDAS E O SOM

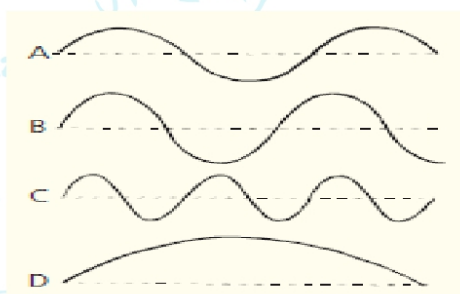
- 1- Descreva com suas palavras o que é o som.
- 2- Descreva como o som pode ser criado a partir da corda de um violão e como ele se propaga até os nossos ouvidos.
- 3- É possível ouvir algum tipo de som no espaço sideral? Explique sua resposta.
- 4- Faça uma ilustração representando o que ocorre com o ar nas proximidades de um alto falante oscilando numa frequência constante.

TEMA 2: PROPRIEDADES DE UMA ONDA

- 1 - A partir dos experimentos realizados em aula, o que pode ser feito se quisermos variar a frequência do som criado pelo instrumento?
- 2 - A partir do experimento realizado em aula, descreva qual era o comportamento da frequência quando se aumentava ou diminuía o comprimento da corda.
- 3 - A partir do experimento realizado em aula, descreva qual era o comportamento da frequência quando se aumentava ou diminuía a tensão da corda, aumentando ou diminuindo a massa de água na extremidade desta?
- 4 - Faça uma ilustração de uma onda transversal e outra de uma onda longitudinal, identificando a amplitude, o comprimento de onda, o sentido de propagação e o sentido de oscilação.
- 5 - Como se relacionam a frequência e o período? Como se relacionam frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação em uma onda periódica?

6 - Ao soar na nota Lá (A), a corda de um violino oscila a 440 Hz. Qual é o período da oscilação da corda? Esse som é mais agudo ou grave que uma nota Ré (D) oscilando a 294 Hz no mesmo violino? Qual é o período nesse caso?

7 - Todas as ondas mostradas abaixo têm a mesma velocidade e estão no mesmo meio. Com o auxílio de uma régua ordene essas ondas em sequência decrescente de acordo com o valor de sua/seu (a) amplitude, (b) comprimento de onda, (c) frequência e (d) período.



8 - Ao aumentarmos o volume de um som, o que ocorre com a frequência, com o comprimento de onda, com a amplitude e com a velocidade de propagação deste?

9 - Ao aumentarmos a altura de um som, o que ocorre com a frequência, com o comprimento de onda, com a amplitude e com a velocidade de propagação deste?

TEMA 3: VELOCIDADE E PROPAGAÇÃO DA ONDA

1- Ao longo das aulas estudamos que a velocidade de propagação de uma onda periódica, é proporcional ao produto do seu comprimento pela frequência. De acordo com essa informação, classifique a frase abaixo em verdadeira ou falsa e justifique sua resposta. "Ao aumentarmos a frequência de uma onda se propagando em determinado meio estaremos por consequência aumentando sua velocidade de propagação."

2- Se uma onda periódica ao mudar de meio tem sua velocidade dobrada, enquanto sua frequência se mantém inalterada, o que acontecerá ao comprimento de onda?

3- Se a velocidade de uma onda estacionária dobrar enquanto seu comprimento de onda se mantém inalterado, o que acontecerá à frequência?

4- A frequência mais alta que os seres humanos conseguem ouvir é de aproximadamente 20.000 Hz. Qual é o comprimento de onda no ar correspondente a essa frequência considerando que sua velocidade é de 340m/s? Qual é o maior comprimento de onda do som que conseguimos ouvir e que está relacionado a uma frequência de 20 Hz?

TEMA 4: TIMBRE

1- Um colega de turma afirma que o timbre diz respeito à qualidade de um som musical estável composto de uma mistura de harmônicos de intensidades diferentes. Você concorda ou discorda dele? Explique com suas palavras o que é o timbre.

2- Comparada com a frequência fundamental, a frequência do segundo harmônico é: a) duas vezes menor; b) igual; c) duas vezes maior; d) quatro vezes maior. Faça uma ilustração de uma onda estacionária com a frequência fundamental e a frequência do segundo harmônico.

5. Considerações Finais

Com este produto educacional esperamos poder atender aos professores de Física do ensino médio e de igual maneira aos professores de Ciências do ensino fundamental, no sentido de propiciar um material com o qual ele possa vir a desenvolver um trabalho de introdução sobre o estudo de ondas.

Ele mostra como os conceitos mais básicos de ondulatória, podem ser abordados de uma maneira diferente da tradicional, buscando mostrar sua ligação com a música através de conceitos comuns ao mundo da Física e da Música, com o uso de instrumentos e simulações.

Cabe salientar que o produto pode ser usado de maneira interdisciplinar com o professor de artes, desde que o professor tenha conhecimentos básicos e interesse por música, uma vez que ele trabalha conceitos básicos dessa disciplina.

Devido ao novo ensino médio, a aplicação do produto ainda pode ser pensada para algumas disciplinas eletivas como a disciplina Experimentação e outras práticas Investigativas ou até mesmo em alguma trilha, como o caso da trilha – Matemática e Música: sistematização e analogias. Ambas disciplinas estão disponíveis para a escolha dos alunos do novo ensino médio no estado de Santa Catarina.

Referências

[1] ROBORTELLA, José Luís de Campos; OLIVEIRA, Edson Ferreira de; FILHO, Avelino Alves. Física Mecânica. v. 1. 10ª Edição. São Paulo: Ática, 1991.

[2] HEWITT, Paul G.. Física Conceitual. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

[3] LIZ, Valmir de. "Física do som: Uma sequência didática 11 através dos Três Momentos Pedagógicos. 2023. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Campus de Blumenau, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2023.

[4] SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física III. [S.l.]: São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2015.

Apêndices

$\sigma = \frac{\Delta x}{\Delta z}$
 $\phi = \sqrt{\frac{\sum (x-m)^2}{n-1}}$
 $\int (x \pm a)^2$
 $S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
 $\pi \approx 3,14$
 $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\text{ctgx} - 2}{2\sqrt{1-x^3}}$
 $P = r^2 \pi$
 $\ln = \sqrt{axb}$
 $4x = 8 - 3y^2$
 $e = 2,79$
 $\sum_{i=0}^n x_i^2$
 $y = 2x^2 + 3x$
 $P = \sum_{i=0}^{\infty} x_i^2$
 $\frac{A-C}{C}$
 $\tan(2a) = \frac{2 \tan(a)}{1 - \tan^2(a)}$
 $15 \Delta t = T - \frac{3a}{x}$
 $(x+y)^2 = \left(\frac{y}{2}\right)^2 = x^2 + 2ax + a^2$
 $\ln x = \ln\left(\frac{a-\sqrt{x^2}}{x}\right) + C$
 $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!}$
 $\frac{\Delta x}{\Delta y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 1} \frac{\Delta x + 2}{\Delta y - 1}$
 $X_{1/2} = \frac{b \pm (a-c)}{\sqrt{a}}$
 $S = \int_{t=2}^{10} 5t dt$
 $y = \frac{\Delta x}{\Delta z}$
 $e = \cos x + \text{tg} y$
 $\int \frac{\sqrt{x+a^2}}{x}$
 $\sin a = \frac{b^3}{(x+h)}$
 $(x+a)$
 $\sin x$
 $(y-1)^2$
 $a+b=c$

MANUAL PARA A CONSTRUÇÃO DE UM INSTRUMENTO ARCAICO DE BAIXO CUSTO.

Caro professor, este material é constituído de um manual contendo o passo a passo da construção de um instrumento rudimentar de cordas de baixo custo, para ser utilizado nas aulas de Física dentro da sequência didática envolvendo Ondas e Música ou como material de apoio em aulas regulares.

Objetivos:

- Construção de um instrumento rudimentar de cordas de baixo custo;
- Dimensionamento dos materiais utilizados;
- Orientação de como utilizar o instrumento na sequência didática.

Montagem:

Os materiais abaixo listados, bem como a montagem do instrumento, são uma sugestão para a construção do mesmo. Cabe ao professor que tenha interesse em assim fazê-lo, adequar os materiais e a sua confecção a sua realidade.

Na Tabela 1 são listados os materiais utilizados para construção de um único instrumento, logo, dependendo do número de instrumentos desejados, esse número deve ser proporcional.

Tabela 1- Materiais utilizados.

Item	Quantidade	Descrição
1	1	Ripa de madeira de pinus 67 x 7,5 x 2,5 cm.
2	1	Caixa simples de mdf 15 x 15 x 5 cm.
3	3	Parafusos do tipo Gancho Para Madeira 3.8 X 30 mm.
4	2	Cordas de violão.
5	1	Pedaços de madeira em formato cilíndrico.
6	1	Cola do tipo adesivo instantâneo para madeira.
7	1	Garrafa pet de 2 litros.
8	1	Arame em forma de gancho.

9	1	Tarraxa de violão do tipo aço.
10	1	Lixas para madeira.

Fonte: O próprio autor.

Observações:

- 1) A quantidade do item 3, são apenas 2. Na Tabela 1 foi colocado a quantidade de 3 para o caso de o professor preferir usar um desses parafusos como tarraxa, ficando assim ainda mais barata a confecção do instrumento.
- 2) O item 5 pode ser qualquer madeira com formato cilíndrico, com 7,5 cm de comprimento e diâmetro máximo de 3 cm. Como exemplos de madeiras desse tipo temos os cabos de vassouras ou baquetas.
- 3) Todos os materiais podem ser reaproveitados de materiais quebrados, ou seja, que estejam em desuso na própria escola e que eventualmente acabariam indo para o lixo.

Para a manipulação e montagem do instrumento é necessária a utilização de algumas ferramentas, as quais estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2- Ferramentas utilizadas.

Item	Quantidade	Descrição
1	1	Furadeira.
2	1	Trena, fita métrica ou similar.
3	1	Broca de 3,5 mm para madeira.
4	1	Broca do tipo serras copo 54mm 2.1/8".
5	1	Faca de serra.
6	1	Martelo.

Fonte: O próprio autor.

Caso o professor encontre dificuldades para encontrar os materiais, ou ainda caso não consiga achar materiais que substituam os que são pedidos na Tabela 1, na Tabela 3 são apresentados alguns links onde o professor pode encontrar os materiais solicitados.

Tabela 3-Lista de sites com os preços dos materiais acessados no dia 03/10/2021.

Item	Site
1	https://www.balaroti.com.br/ripa-pinus-1x3-25x75cm-25m-2640/p
2	https://www.mansaodasartes.com.br/caixa-simples-15x15x5-em-mdf-2845/p
3	https://www.parafusofacil.com.br/ProdutosDetalhes.php?Nome=gancho-para-madei

9 <https://www.submarino.com.br/produto/30963983>.

Fonte: O próprio autor.

De posse dos materiais e ferramentas mencionados nas Tabelas 1 e 2, podemos então confeccionar o instrumento seguindo as etapas a seguir:

1º - Na primeira etapa iremos iniciar lixando as ripas de madeira para dar um melhor acabamento ao instrumento, como mostrado na Figura 1.

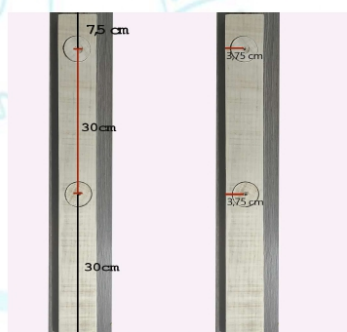
Figura 1. Comparação da madeira sem e com o lixamento.



Fonte: O próprio autor.

2º - Após o lixamento da ripa, iremos medir 30 cm de comprimento a partir de uma das extremidades da madeira e marcaremos um ponto para que possamos usá-lo como centro para nossa primeira circunferência. A partir desse primeiro ponto, medimos mais 30 centímetros e marcamos um segundo ponto, o qual será o centro da nossa segunda circunferência. Em relação a largura, esses pontos devem estar a 3,75 cm das bordas laterais. A Figura 2 ilustra as medidas de comprimento e largura, bem como a mesma ficará após as circunferências.

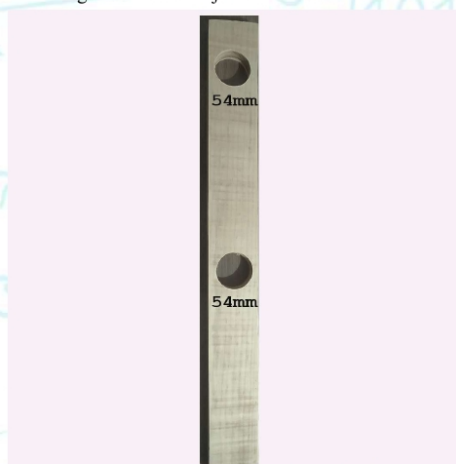
Figura 2- Medidas para o centro das circunferências.



Fonte: O próprio autor.

3º - Com as marcações feitas, será usado uma furadeira com uma broca do tipo serra copos para madeira, com um diâmetro de 54 mm, para ser feito os dois círculos do instrumento, como mostra a Figura 3.

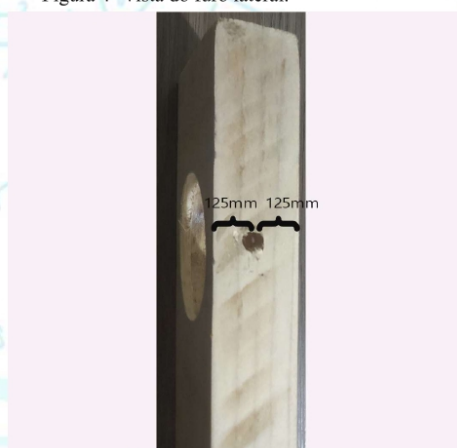
Figura 3- Madeira já com os furos.



Fonte: O próprio autor.

4º - A seguir será feito um novo furo com a furadeira e uma broca de 6 mm para madeira na lateral da circunferência superior apresentada na Figura 3. Esse furo é importante para que possamos fixar as tarraxas ao final da montagem do instrumento, como indicado na Figura 4.

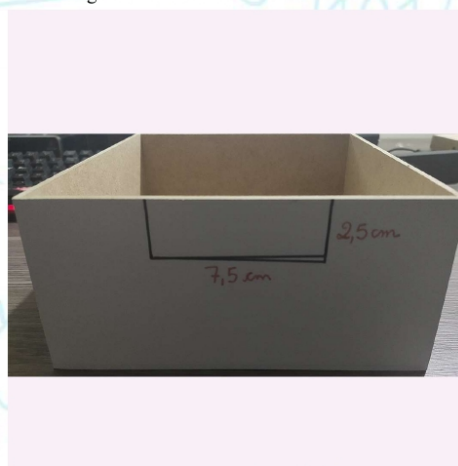
Figura 4- Vista do furo lateral.



Fonte: O próprio autor.

5º - Com os furos feitos na ripa, que servirá de braço para o instrumento, partiremos para a preparação da caixa que servirá como amplificador. Para isso será desenhado com a ajuda de uma régua um retângulo de 7,5 cm X 2,5 cm, com as suas laterais distantes 3,75 cm das bordas da caixa, conforme ilustrado na Figura 5.

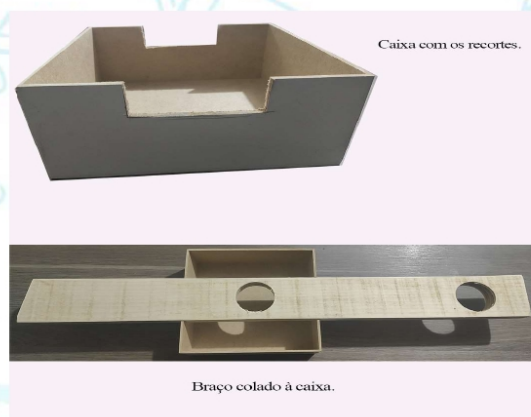
Figura 5- Caixa com as medidas de corte.



Fonte: O próprio autor.

6º - Com as medidas prontas, parte-se agora para o corte da caixa na região onde será encaixado o braço. Para tanto, inicialmente alinha-se o círculo central com o centro da caixa, e então o braço do instrumento é colado na caixa com o auxílio da cola instantânea. A Figura 6 mostra como ficará a caixa com o corte e com o braço fixado.

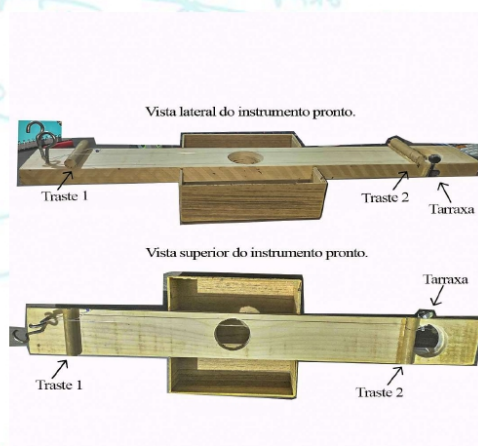
Figura 6- Caixa com os recortes laterais e caixa com o braço do instrumento já colado.



Fonte: O próprio autor.

7º - Com o braço colado à caixa, resta agora a finalização do instrumento. Para isso será fixado a tarraxa no furo lateral apresentado na Figura 4, serão colados os dois pedaços de madeira em formato cilíndrico que servirão de traste e serão colocados os dois parafusos que servirão para fixar a corda durante as medidas. As distâncias entre os parafusos não tem grande importância, devendo apenas que elas fiquem atrás da madeira que servirá como traste do instrumento. Já a distância dos trastes deve ter no mínimo uma distância de 50 cm, para que os alunos possam fazer as medidas sem precisar se preocupar se estão movendo de mais o traste móvel. A Figura 7 mostra como deverá ficar o instrumento finalizado.

Figura 7- Vistas superior e lateral do instrumento finalizado.



Fonte: O próprio autor.