



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

Caroline Machado Canto

Instrumentos Musicais: Contextualizando o Ensino de Acústica

Araranguá

2022

Caroline Machado Canto

Instrumentos Musicais: Contextualizando o Ensino de Acústica

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Ensino de Física.
Orientador(a): Prof.^a Dr.^a. Marcia Martins Szortyka

Araranguá

2022

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

Canto, Caroline Machado

Instrumentos Musicais : Contextualizando o Ensino de
Acústica / Caroline Machado Canto ; orientadora, Dra.
Marcia Martins Szortyka , 2022.

247 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de
Pós-Graduação em Ensino de Física, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Acústica. 3. Música. 4.
Aprendizagem Significativa. I. , Dra. Marcia Martins
Szortyka. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Caroline Machado Canto

Instrumentos Musicais: Contextualizando o Ensino de Acústica

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

Prof.(a) Leandro Batirolla Krott, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Éverton Fabian Jasinski, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Patrícia Ternes Dallagnollo, Dr.(a)
University of Leeds

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. Leandro Batirolla Krott, Dr.

Prof.(a) Marcia Martins Szortyka, Dr.(a)
Orientador(a)

Araranguá, 2022.

Este trabalho é dedicado ao meu esposo e a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e forças para superar as dificuldades.

Ao meu esposo Bruno Monteiro Canto, que sempre me apoiou durante todo o percurso e compreendeu a minha ausência enquanto eu me dedicava a este trabalho.

A todos os meus familiares, que me incentivaram em todos os sentidos e me ajudaram durante esta caminhada.

Agradeço à Capes pelo financiamento do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física e ao Programa de Bolsas do Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior – Fumdes, do Estado de Santa Catarina (UNIEDU) pelo apoio financeiro.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e os docentes que contribuíram com a minha formação, em especial os professores do MNPEF do polo de Araranguá

Aos colegas que compartilharam o aprendizado e as viagens, tornando o percurso mais agradável.

A Prof.^a Dr.^a. Marcia Martins Szortyka pelas orientações e sugestões a este trabalho.

Agradeço também a Escola de Ensino Médio Engenheiro Annes Gualberto por possibilitar a aplicação deste trabalho, em especial a equipe gestora, por abraçar o projeto e por dar todo o apoio.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com a minha formação.

Muito Obrigada!

RESUMO

Ensinar física é um desafio, principalmente por conta da falta de interesse dos alunos em aprender os conceitos deste campo de estudo. O problema pode estar na forma como os conteúdos são abordados, geralmente distanciados do “mundo” do aluno e vazios de significados. No ensino, muitas vezes, é priorizado a teoria, a abstração e a utilização de fórmulas matemáticas sem relacioná-las com o significado físico. Assim, o aprendizado geralmente ocorre de forma mecânica, por meio da memorização das definições e fórmulas e da resolução repetitiva de exercícios. Uma possível solução para esses problemas é proporcionar um ensino de forma contextualizada, levando em conta os conceitos e ideias que os alunos já possuem. Portanto, este trabalho propõe uma alternativa para abordar os conceitos de ondulatória e acústica, com base na Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica e contextualizando com elementos do cotidiano dos alunos, como a música e os instrumentos musicais. O projeto foi elaborado no decorrer de uma pandemia (coronavírus), que obrigou os professores, dentre tantas coisas, a repensar suas metodologias, em virtude do regime especial de ensino não presencial. Por esse motivo, a maioria das atividades precisaram ser adaptadas para a aplicação de forma remota. As aulas foram aplicadas em uma turma de segundo ano do Ensino Médio Integrado à Educação Profissional, do curso de Informática de uma escola da cidade de Imbituba/SC. Foram utilizadas diversas metodologias e recursos tecnológicos, como atividades práticas com instrumentos musicais e aulas utilizando formulários virtuais, com questionários, vídeos, demonstrações experimentais, simulações computacionais etc. Tendo em vista as dificuldades relacionadas à pandemia, a adaptação e aplicação das aulas foram possíveis de serem feitas, porém as potencialidades de cada atividade foram diminuídas, pois elas poderiam apresentar resultados ainda melhores. Isso pode ser justificado não só pela alteração das ferramentas didáticas, mas principalmente pelo retorno e participação dos alunos, visto que o ensino remoto requer uma aprendizagem muito mais autônoma. Sendo assim, é possível perceber que a educação de forma remota necessita de outros olhares, não só relacionado às possíveis metodologias, mas também relacionados ao retorno dos alunos. Para isso é fundamental reconhecer que cada indivíduo está inserido em um contexto social distinto, para então refletir sobre ações que objetivam alcançar esses alunos.

Palavras-chave: Acústica. Música. Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

Teaching Physics is a challenge, mainly due to the students' lack of interest in learning the concepts of this study field. The problem may be in the way that these contents are approached, which are commonly distanced from the student's "world" and meaningless. In teaching, many times the theory itself is prioritized, abstraction and the use of mathematical formulas without relating them to the physical meaning. Thus, learning usually occurs mechanically, through memorization of definitions and formulas and repetitive resolution of exercises. A possible solution to these problems is to provide teaching in a contextualized way, considering the concepts and ideas that students already have. Therefore, this work proposes an alternative to approach the concepts of wavelike and acoustics, based on the Critical Significant Learning Theory and contextualizing with elements of students' daily lives, such as music and musical instruments. The project was developed during a pandemic (coronavirus), which forced teachers, among many things, to rethink their methodologies, due to the special regime of non-face-to-face teaching. For this reason, most activities had to be adapted into a remote application. The classes were developed in a second-year class of an Integrated High School into Professional Education, of the Informatics course of a school based in the city of Imbituba/SC. Several methodologies and technological resources were used, such as practical activities with musical instruments and classes using virtual platforms, with questionnaires, videos, experimental demonstrations, computer simulations, etc. In view of the difficulties related to the pandemic, the adaptation and application of the classes were possible, but the potential of each activity was significantly reduced, because they could produce even better results. This can be explained not just by the change in didactic tools, but mainly by students feedback and participation, since remote teaching requires much more autonomous learning. Therefore, it is possible to perceive that education remotely needs other perspectives, not only related to possible methodologies, but also related to evaluations that comes from the students. For that, it is essential to recognize that each individual is inserted into a different social context, for then, reflect on actions that aim to reach these students.

Keywords: Acoustics. Music. Meaningful Learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formas de propagação	31
Figura 2 - Onda periódica.....	31
Figura 3 – Comprimento de onda.....	32
Figura 4 - Diagrama de corpo livre de um segmento de corda	34
Figura 5 – Gongos percutidos	36
Figura 6 - Cilindro de fluido	37
Figura 7 - Onda sonora se propagando em um tubo.....	39
Figura 8 - Intensidade sonora	42
Figura 9 - Níveis de intensidade sonora	44
Figura 10 - Intervalos	46
Figura 11 - Teclado de um piano	46
Figura 12 - Relação entre o intervalo e o comprimento	47
Figura 13 - Timbre	47
Figura 14 - Reverberação – múltiplas reflexões.....	48
Figura 15 - Reflexão e Refração	50
Figura 16 - Refletividade.....	53
Figura 17 - Ouvinte em movimento e fonte estacionária	56
Figura 18 - Fonte e ouvinte em movimento	57
Figura 19 – Ondas estacionárias.....	59
Figura 20 - Modos normais	60
Figura 21 - Tubo de um órgão.....	62
Figura 22 - Tubo sonoro com duas extremidades abertas	63
Figura 23 - Tubo sonoro com uma extremidade fechada	63
Figura 24 - Mapa mental I.....	74
Figura 25 - Mapa mental II	75
Figura 26 - Mapa mental da turma	75
Figura 27 - Questão 5.....	77
Figura 28 - Questão 10.....	77
Figura 29 – Comentários	78
Figura 30 – Questionário inicial.....	79
Figura 31 – Questão 1	80
Figura 32 – Questões 2 e 3	80
Figura 33 - Comentários.....	81
Figura 34 – Nível sonoro.....	82
Figura 35 – Reflexão sonora	84
Figura 36 – Ressonância I.....	85
Figura 37 – Ressonância II.....	86
Figura 38 – Ressonância III	87
Figura 39 - Tubos 1	89
Figura 40 – Tubos 2	90
Figura 41 – Tubos 3	90
Figura 42 – Tubos: conclusão	91
Figura 43 – Cordas 1	92
Figura 44 – Cordas 1a	93
Figura 45 – Cordas 1b.....	93

Figura 46 – Cordas 1c	94
Figura 47 – Cordas 2	95
Figura 48 – Cordas 2a	95
Figura 49 – Cordas 2b	96
Figura 50 – Cordas: conclusão	97
Figura 51 – Comentário final	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dissertações de 2016.....	17
Quadro 2 – Dissertações de 2017.....	19
Quadro 3 – Dissertações de 2019.....	20
Quadro 4 – Marcações da avaliação.....	96
Quadro 5 – Resumo da aplicação.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

UEPS - Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

CTS - Ciências, Tecnologia e Sociedade

MHS - Movimento Harmônico Simples

GSA - Google Sala de Aula

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: TEORIA DE ENSINO APRENDIZAGEM.....	22
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: CONCEITOS FÍSICOS	30
4.1 ONDAS MECÂNICAS.....	30
4.2 ONDAS PERIÓDICAS.....	31
4.3 DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DAS ONDAS	32
4.4 VELOCIDADE DE UMA ONDA TRANSVERSAL EM UMA CORDA	34
4.5 SOM	36
4.6 VELOCIDADE DAS ONDAS SONORAS.....	39
4.7 QUALIDADES SONORAS	41
4.7.1 Intensidade	42
4.7.2 Altura.....	45
4.7.2.1 <i>Notas e escalas musicais</i>	<i>45</i>
4.7.3 Timbre	47
4.8 FENÔMENOS SONOROS.....	48
4.8.1 Reflexão	48
4.8.1.1 <i>Impedância acústica</i>	<i>49</i>
4.8.1.2 <i>Reflexão sonora – estudo geométrico.....</i>	<i>50</i>
4.8.2 Ressonância	53
4.8.3 Efeito Doppler Sonoro.....	56
4.9 INSTRUMENTOS MUSICAIS	58
4.9.1 Instrumentos de cordas	59
4.9.2 Instrumentos de tubos sonoros.....	62
4.9.2.1 <i>Tube aberto nas duas extremidades</i>	<i>62</i>
4.9.2.2 <i>Tube fechado em uma extremidade.....</i>	<i>63</i>
5 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	65
5.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS).....	65
5.2 1º MOMENTO – ONDAS	66
5.3 2º MOMENTO – ONDAS SONORAS.....	67
5.4 3º MOMENTO – QUALIDADES DO SOM.....	67
5.5 4º MOMENTO – FENÔMENOS SONOROS	68
5.6 5º MOMENTO – INSTRUMENTOS MUSICAIS	69
5.7 6º MOMENTO – AVALIAÇÃO	69
6 APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	70
6.1 CONTEXTO DE APLICAÇÃO	70
6.2 PROJETO PILOTO 2019.....	70
6.3 ADAPTAÇÃO AO ENSINO NÃO PRESENCIAL	71
6.4 APLICAÇÃO DA UEPS ADAPTADA	73
6.4.1 1º Momento - Ondas	73

6.4.2 2º Momento - Ondas Sonoras	78
6.4.3 3º Momento – Qualidades do som	81
6.4.4 4º Momento – Fenômenos sonoros	83
6.4.5 5º Momento – Instrumentos Musicais	88
6.4.5.1 <i>Instrumentos de tubos</i>	89
6.4.5.2 <i>Instrumentos de cordas</i>	91
6.4.6 6º Momento - Avaliação	97
7 CONCLUSÃO	100
REFERÊNCIAS	102
APÊNDICE A – Produto Educacional	15
ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)..	133
ANEXO B – Lista de exercícios 1: Ondulatória	135
ANEXO C – Lista de exercícios 2: Acústica	137
ANEXO D – Avaliação final	139

1 INTRODUÇÃO

Ensinar física é um desafio e existem muitos motivos envolvidos, como a falta de interesse dos alunos em aprender e a dificuldade que apresentam em compreender os conceitos que fazem parte deste campo de estudo. O problema pode estar na forma como os conteúdos são abordados, geralmente distanciados do “mundo” do aluno e vazios de significados. Para ensinar física, muitas vezes, prioriza-se a teoria, a abstração e a utilização de fórmulas matemáticas sem relacioná-las com o significado físico. Assim, o aprendizado ocorre por meio da memorização das definições e fórmulas e da resolução repetitiva de exercícios, de forma mecânica, sem exigir compreensão do contexto, sem aprofundamento e sem dar conta de novas situações. (BRASIL, 2000)

Esse tipo de aprendizagem é definido por David Ausubel como aprendizagem mecânica, que de acordo com Moreira (2009), é

[...] aquela em que novas informações são aprendidas praticamente sem interagirem com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, sem ligarem-se a conceitos subsunçores específicos. A nova informação é armazenada de maneira arbitrária e literal, não interagindo com aquela já existente na estrutura cognitiva e pouco ou nada contribuindo para sua elaboração e diferenciação. (MOREIRA, 2009, p. 8)

Uma possível solução para esses problemas é proporcionar um ensino de forma contextualizada com o cotidiano dos alunos. Para isso,

é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam, ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade. Esse deve ser o ponto de partida e, de certa forma, também o ponto de chegada. (BRASIL, 2000, p. 23)

A Base Nacional Comum Curricular também apresenta a importância da contextualização dos conhecimentos da área. De acordo com o documento, a aprendizagem “deve valorizar a aplicação dos conhecimentos na vida individual, nos projetos de vida, no mundo do trabalho, favorecendo o protagonismo dos estudantes...” (BRASIL, 2018, p. 549).

Na busca por uma aprendizagem ativa e significativa, em que os alunos possam demonstrar interesse e perceber a presença da Física no seu mundo, esse trabalho propõe uma alternativa para abordar os conceitos de ondulatória e acústica no Ensino Médio.

A acústica é a área da Física que se preocupa em estudar as ondas sonoras. O som está presente em vários momentos do dia, sendo ele ruído ou música. Em qualquer sala de aula, é possível encontrar jovens admiradores da música, que passam muitas horas com fones de ouvido, tocando instrumentos, dançando e discutindo sobre cantores e estilos musicais. Além disso, podemos também trabalhar as aplicações do ultrassom no campo das ciências da saúde.

A música ou, mais especificamente, os instrumentos musicais, fazem parte de um tema que normalmente desperta o interesse dos alunos. Muitos estudantes já possuem alguns conceitos relacionados à sua estrutura cognitiva, seja por tocar um instrumento ou por ser um ouvinte atento. Esses conceitos iniciais podem facilitar a aprendizagem dos conceitos físicos, formando uma base para o ensino e a aprendizagem de forma significativa, bem como promovendo discussões relacionadas às situações reais dos alunos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor uma alternativa para ensinar ondas e acústica no Ensino Médio, utilizando diversas metodologias, como a construção de instrumentos musicais, atividades práticas e atividades utilizando simulações computacionais e outros recursos tecnológicos. As propostas metodológicas foram construídas utilizando os conceitos da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira.

A seguir, será feita uma revisão bibliográfica de alguns trabalhos que abordam o ensino de Acústica. Em seguida, serão discutidas as teorias da aprendizagem significativa clássica e crítica. Por fim, o projeto será apresentado em forma de momentos, detalhando as metodologias que foram utilizadas, bem como os resultados e conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado um levantamento dos trabalhos na literatura que abordam o ensino de Acústica. Optou-se por realizar a pesquisa no acervo do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (<http://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacoes>). Foram encontradas dez dissertações, defendidas a partir do ano de 2016, dentre elas, seis foram publicadas em 2016, duas em 2017 e duas em 2019.

Os trabalhos estão divididos por ano e mostrados a seguir. Alguns deles não possuem o mesmo referencial metodológico que será abordado neste trabalho, ou seja, alguns não abordam o ensino de Acústica utilizando a teoria da aprendizagem significativa crítica de Moreira, entretanto, são referências importantes que mostram alternativas e formas de abordar o tema.

Na busca por dissertações defendidas no ano de 2016, foram encontrados seis trabalhos de diferentes polos no MNPEF, escritas por Rodrigues (2016), Santos (2016), Carvalho (2016), Coelho (2016), Lérias (2016) e Ezequiel (2016).

Quadro 1 – Dissertações de 2016

	Título	Autor	Defesa
01	Atividades para o Aprendizado de Acústica	Ernani Vassoler Rodrigues Polo 12: UFES	03/06/2016
02	Aprendizagem Ativa: Uma proposta para o ensino de Luz e Som	José Rafael Dos Santos Polo 11: UFS	03/06/2016
03	Acústica e Cidadania: Uma abordagem CTS para o Ensino Fundamental	Ramon Marques de Carvalho Polo 08: UNIVASF	08/07/2016
04	Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória.	André Luis Miranda de Barcellos Coelho Polo 01: UnB	19/08/2016

05	A física da música e a pluralidade didática	Washington Roberto Lérias Polo 32: UTFP Mourão	19/08/2016
6	Análise de perfil conceitual em ciclos de modelagem: um estudo sobre o ensino do efeito doppler	Lúcio Flávio de Castro Ezequiel Polo 13: UFLA	30/09/2016

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Rodrigues (2016) desenvolveu um produto educacional em forma de livreto, como Material Instrucional direcionado a alunos do ensino médio e intitulado “Atividades para o aprendizado de Acústica”. É composto por oito capítulos com diversas atividades que contemplam conceitos básicos de Acústica e propõem a utilização de aplicativos para smartphones, placa controladora Arduino e a construção de instrumentos musicais e transdutores rudimentares. Seu trabalho é referenciado pela teoria da Mudança Conceitual, na perspectiva de DiSessa e outros colaboradores.

No trabalho “Aprendizagem Ativa: Uma proposta para o ensino de Luz e Som”, Santos (2016) propõe uma unidade de ensino para auxiliar os professores da educação básica no ensino de ondulatória. Baseado na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel-Novak-Gowin, buscou uma forma de trabalhar ondas relacionando a Luz e o Som, suas características, semelhanças e diferenças. O produto gerado foi uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), formada por seis planos de aulas, que utilizam diversos recursos metodológicos, como vídeos, simulações, questões-problema desenvolvidas no “Modellus”, Instruções por colegas e mapas conceituais organizados de maneira lógica e potencialmente significativa.

No estudo de Carvalho (2016) foi proposto um manual didático para o ensino de Acústica, com enfoque no movimento CTS (Ciências, Tecnologia e Sociedade), composto por planos de aula voltados para a utilização do professor. Dentre as atividades sugeridas, está a utilização de aplicativos para smartphones e experimentos práticos de baixo custo. O objetivo do autor foi proporcionar aos estudantes a utilização prática do conhecimento científico sobre o tema “poluição sonora”, para que possam se tornar cidadãos ativos na comunidade, desenvolvendo consciência social.

Coelho (2016) apresentou uma sequência didática para o ensino de conceitos básicos de física ondulatória. Tendo a teoria da aprendizagem significativa como

referencial teórico, partiu de conceitos perceptuais do som, como altura, consonância e dissonância, para desenvolver os conceitos físicos abstratos de comprimento de onda, frequência de oscilação, período de oscilação e velocidade de propagação de uma onda. A sequência se articula em torno na utilização de monocórdio, construído com materiais de baixo custo e introduzido a partir do funcionamento do violão.

A dissertação “A física da música e a pluralidade didática” tem por objetivo apresentar uma sequência didática para explorar significativamente os conteúdos de ondulatória e acústica, utilizando a música como agente motivacional. Referenciado pelos fundamentos da pluralidade metodológica de Paul Feyerabend, Lérias (2016) buscou utilizar diversos recursos, que vão “desde quadro giz, a inventos, instrumentos musicais, experimentos, softwares, simuladores, imagens, animações, videoaulas, músicas, poesias e alguns aspectos epistemológicos da física da música” (Lérias, 2016, p.6).

Ezequiel (2016) apresentou, em sua dissertação intitulada “Análise de perfil conceitual em ciclos de modelagem: um estudo sobre o ensino do efeito doppler”, os resultados da aplicação de uma sequência didática voltada para o estudo da Física Ondulatória e do Efeito Doppler. O autor investigou a aplicação dos Ciclos de Modelagem propostos por David Hestenes, como estratégia didática para integrar atividades experimentais e ferramentas computacionais no ensino de Física na Educação Básica.

Para o ano de 2017, foram selecionadas duas dissertações que abordam o tema de Acústica, defendidas por Caldas (2017) e Mazeti (2017).

Quadro 2 – Dissertações de 2017

	Título	Autor	Defesa
07	Atividades experimentais de acústica para o ensino de física: uma proposta na inclusão de surdos	Gracilene Gaia Caldas Polo 37: UFPA	07/04/2017
08	Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica no ensino médio	Lucas Jesus Bettiol Mazeti Polo 42: UFSCar_Sorocaba	01/07/2017

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Caldas (2017) propôs o desafio de ensinar ondas sonoras para alunos surdos. A autora apresenta uma alternativa metodológica para a abordagem de acústica por meio da utilização de atividades experimentais, promovendo a inclusão de alunos surdos e tornando o aprendizado compreensivo e prazeroso. Sua pesquisa foi baseada na teoria da aprendizagem significativa de Marco Antônio Moreira e Ausubel, bem como na proposta de inclusão de alunos surdos pelos pressupostos de Veronica Aparecida Pinto Lima e Romeu Kazumi Sasaki.

Análogo a este trabalho, Mazeti (2017) também propõe uma sequência didática para o ensino de Acústica fundamentado nos princípios da aprendizagem significativa de David Ausubel. A sequência didática deste autor será um importante referencial para a construção deste trabalho, pois suas ideias são compatíveis com as ideias iniciais desta proposta e alguns recursos didáticos são semelhantes, como a construção de instrumentos musicais com materiais de baixo custo.

No ano de 2019 foram encontradas duas dissertações, escritas por Araujo (2019) e Freitas (2019).

Quadro 3 – Dissertações de 2019

	Título	Autor	Defesa
09	Implementação de metodologias ativas: aprendizagem baseada em projetos em aulas de física sobre acústica no ensino médio à luz dos campos conceituais	Ramón Vieira Araujo Polo 50: UFRGS	01/04/2019
10	Tubo de diretividade sonora (TDS): Confecção de um modelo experimental para o estudo da Acústica.	Paulo Henrique Freitas Polo 41: UFSC- Araranguá	11/04/2019

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Araujo (2019) construiu e aplicou uma sequência didática que aborda o tema de Ondas e Acústica utilizando como metodologia a Aprendizagem Baseada em Projetos, priorizando o estudante como protagonista no processo de aprendizagem. O autor utilizou como referencial teórico a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud.

Para finalizar esta revisão, o trabalho de Freitas (2019) propõe uma montagem experimental denominada “Tubo de Diretividade Sonora” construído com materiais de baixo custo, para reproduzir e observar fenômenos de nível de pressão sonora, frequência, comprimento de onda e superposição de ondas. A sequência didática produzida foi

composta por experimentos utilizando a montagem descrita e atividades com o uso de aplicativos para smartphones, com o objetivo de promover a aprendizagem de conceitos fundamentais de Acústica, bem como a formação crítica sobre a aplicabilidade desses conhecimentos no cotidiano do aluno.

Por meio desta pesquisa das dissertações escritas e defendidas pelos discentes do MNPEF, que contemplam estudos acerca do ensino de Acústica, foi possível perceber que há diversas possibilidades metodológicas para abordar conceitos e fenômenos sobre ondas sonoras. Algumas dessas propostas trouxeram contribuições para este trabalho, principalmente as que apresentam atividades práticas com materiais de baixo custo e uso de aplicativos para smartphones.

Será proposta uma sequência didática que favoreça uma aprendizagem significativa, partindo do estudo dos principais conceitos de ondulatória até a abordagem de ondas sonoras. Será composta por atividades que leve em consideração o que o aluno já sabe sobre o tema e que contextualize com aplicações em seu cotidiano. Tal contextualização será feita, principalmente, relacionando a física com a música. Ao final da sequência, serão realizadas duas atividades com instrumentos musicais para compreender alguns conceitos físicos: a primeira, com instrumentos de cordas, terá o objetivo de verificar a relação entre a espessura e o comprimento das cordas com o som emitido; a segunda atividade, com instrumentos de tubos, os alunos deverão construir uma flauta pã e compreender a relação entre o som das notas e o comprimento dos tubos.

Portando, este trabalho visa oferecer um amplo material de apoio ao professor que busca ensinar ondulatória e acústica no Ensino Médio. Foi elaborado com o objetivo ser o mais completo possível, utilizando diversas estratégias didáticas, como atividades práticas, demonstrações experimentais, atividades com recursos tecnológicos, aulas expositivas dialogadas, problemas matemáticos contextualizados, simulações computacionais e atividades de pesquisa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: TEORIA DE ENSINO APRENDIZAGEM

3.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CLÁSSICA

A teoria clássica da aprendizagem significativa foi proposta originalmente por David Ausubel em 1968. Para ele, o fator mais importante que influencia na aprendizagem de um indivíduo é o que ele já sabe, aspectos de sua estrutura cognitiva que são relevantes para a aprendizagem de uma nova informação. Para facilitar a aprendizagem, esses aspectos já existentes na estrutura cognitiva devem ser compostos por conhecimentos aprendidos significativamente, chamados de “subsunoçores” e, após serem identificados, tem-se os alicerces para base de um ensino e aprendizagem de forma significativa.

Aprendizagem significativa, para Ausubel, ocorre quando uma nova informação interage com os subsunoçores existentes na estrutura cognitiva de um indivíduo, adquirindo significado. Isto é, de acordo com Moreira,

[...] a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação "ancora-se" em conceitos relevantes (subsunoçores) preexistentes na estrutura cognitiva. Ou seja, novas idéias, conceitos, proposições podem ser aprendidos significativamente (e retidos), na medida em que outras idéias, conceitos, proposições, relevantes e inclusivos estejam, adequadamente claros e disponíveis, na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem às primeiras. (MOREIRA, 2009, p. 7)

A interação da nova informação com a estrutura cognitiva do aluno não ocorre de forma literal, ou seja, não é um resultado de repetições ao pé da letra e sem significado para o sujeito. O que significa que esta interação é substantiva, “o que é incorporado à estrutura cognitiva é a substância do novo conhecimento, das novas idéias, não as palavras precisas usadas para expressá-las” (Moreira, 2009, p.47)

Além disso, a aprendizagem significativa não é arbitrária, ou seja, não ocorre com qualquer ideia prévia, mas com algum conhecimento relevante, que pode ser “uma concepção, um construto, uma proposição, uma representação, um modelo...” (Moreira, 2012, p.4), e não necessariamente um conceito.

Por meio da interação do subsunçor com a nova informação, ele poderá ser reorganizado, reestruturado, “vai ficando mais rico, mais refinado, mais diferenciado, e mais capaz de servir de ancoradouro para novas aprendizagens significativas” (Moreira, 2012, p. 3). Entretanto, nem sempre o conhecimento prévio é uma variável facilitadora na interação com o novo conceito, também pode ser um bloqueador, por exemplo,

“a idéia de corpúsculo como uma “bolinha” invisível, com uma massa muito pequena, ocupando um espaço muito pequeno, dificulta enormemente a aprendizagem significativa do que seja uma partícula elementar. O átomo como um sistema planetário em miniatura também funciona como obstáculo representacional para a aprendizagem da estrutura do átomo na perspectiva da Mecânica Quântica. Partículas elementares representadas nos livros de texto como pequenas esferas coloridas podem obstaculizar a aprendizagem do que sejam quarks, embora eles tenham a propriedade cor (que não tem o mesmo significado aceito na Óptica). Outro exemplo é o caso dos diagramas de fluxo, organogramas e quadros sinópticos que podem até mesmo bloquear a aprendizagem significativa do que seja um mapa conceitual (diagrama hierárquico de conceitos)”. (MOREIRA, 2012, p. 7)

Cabe ressaltar que aprendizagem significativa não é, necessariamente, uma aprendizagem cientificamente correta. O sujeito aprende significativamente quando relaciona o novo conhecimento com ideias preestabelecidas no seu cognitivo. Entretanto, esse conhecimento aprendido significativamente pode não ser aceito na matéria de ensino ou não ser corroborado cientificamente. “Por exemplo, se uma pessoa acredita que no verão estamos mais próximos do sol e no inverno mais distante, explicando assim as estações do ano, isso pode ser significativo para ela embora não seja a explicação cientificamente aceita” (Moreira, 2012, p. 8).

Em diversas formas de ensino o aluno pode aprender significativamente, como "por descoberta" e "por recepção". Aprendizagem por recepção ocorre quando o sujeito recebe o conhecimento pronto, em sua versão final. Na forma receptiva, geralmente ocorre uma aprendizagem mecânica, em que o aluno memoriza os conceitos passivamente. Entretanto ela pode ser significativa se houver a interação entre o novo conhecimento com aqueles já existentes no seu cognitivo, “a ‘recepção’ do novo conhecimento pode ser, por exemplo, através de um livro, de uma aula, de uma experiência de laboratório, de um filme, de uma simulação computacional, de uma modelagem computacional, etc.” (Moreira, 2012, p. 13).

Na aprendizagem por descoberta, o conhecimento deve ser descoberto pelo aluno, mas para ser significativo, deve se ancorar nos subsunçores preexistentes. Esta forma de ensino é interessante para crianças no início da escolarização pois, nesta fase, a compreensão dos fenômenos se dá, predominantemente, de maneira empírica. Nas fases posteriores, a criança vai desenvolvendo maturidade cognitiva e a experiência concreta já não é mais tão necessária para a aprendizagem.

Ausubel distingue três tipos de aprendizagem significativa: representacional, de conceitos e proposicional. A primeira refere-se à aprendizagem do significado de símbolos, normalmente constituídos por palavras, e do que eles representam. Um caso

especial da aprendizagem representacional é a aprendizagem de conceitos, pois conceitos são também representados por símbolos. Entretanto, os conceitos são representações que possuem características com critérios comuns, pode-se aprender um conceito referente a uma palavra e aprender o significado do conceito. Por último, a aprendizagem proposicional envolve aprender o significado de ideias expressas em grupos de palavras (proposições), além dos significados das próprias palavras isoladas.

Para que ocorra aprendizagem significativa, existem condições. A primeira delas é que o material de estudo deve ser potencialmente significativo, isto é, ele deve ter significado lógico, ser não-arbitrário e não-aleatório, para que possa se relacionar com ideias prévias relevantes disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito. A segunda condição é que o sujeito deve apresentar uma disposição para aprender.

Independente de quão potencialmente significativo possa ser o material a ser aprendido, se a intenção do aprendiz for, simplesmente, a de memorizá-lo arbitrariamente e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos (ou automáticos). E, de modo recíproco, independentemente de quão disposto a aprender estiver o indivíduo, nem o processo nem o produto da aprendizagem serão significativos, se o material não for potencialmente significativo – se não for relacionável à estrutura cognitiva, de maneira não-literal e não-arbitrária. (Moreira, 2009, p.12)

Além dessas condições, é possível facilitar a aprendizagem significativa. Isso pode ser feito por meio de princípios programáticos e estratégias.

Um princípio programático relevante é a diferenciação progressiva, em que as ideias mais gerais e relevantes do conteúdo a ser abordado são apresentadas inicialmente e, em seguida, são diferenciadas por meio de situações específicas, exemplos e exercícios, e são retomadas periodicamente para a progressão da aprendizagem significativa.

Outro princípio importante é o da reconciliação integradora, segundo o qual a programação do conteúdo deve proporcionar a relação entre conceitos, para que seja possível identificar as semelhanças e diferenças das proposições abordadas. Para programar o conteúdo, deve-se observar o princípio da organização sequencial, no qual os tópicos são sequenciados de forma lógica e coerente, considerando as relações de dependência entre eles.

Ao final do episódio de aprendizagem de determinada matéria de ensino, deve-se certificar de que o aprendiz possui domínio do assunto abordado, tal princípio denomina-se consolidação. Assim, o conteúdo de ensino se torna um subsunçor, para então serem apresentadas novas informações.

Para estabelecer uma ponte entre o subsunçor e a nova informação, podem ser utilizados organizadores prévios, que são materiais introdutórios com alto nível de abstração, como textos, discussões, demonstrações, experimentos, filmes, vídeos etc., por exemplo,

[...] em um estudo conduzido por Ausubel (1960), no qual o material de aprendizagem tratava das propriedades metalúrgicas do aço carbônico, foi usado como organizador expositório um texto introdutório que enfatizava as principais diferenças e similaridades entre metais e ligas metálicas, suas respectivas vantagens e limitações e as razões de fabricação e uso de ligas metálicas. Esta passagem introdutória continha informações relevantes para o material de aprendizagem, porém foi apresentada em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Além disso, foi, cuidadosamente, constituída para não conter informações sobre o próprio material de aprendizagem, pois não é essa finalidade de um organizador. (Moreira, 2009, p. 14)

Como estratégias didáticas que facilitam a aprendizagem significativa, temos os mapas conceituais, que são diagramas de significados que relacionam e estruturam os conceitos, organizando-os hierarquicamente. O mapa conceitual pode ser utilizado como instrumento didático, recurso de aprendizagem, forma de avaliação, entre outros.

Na medida em que os alunos utilizarem mapas conceituais para integrar, reconciliar e diferenciar conceitos, na medida em que usarem essa técnica para analisar artigos, textos capítulos de livros, romances, experimentos de laboratório, e outros materiais educativos do currículo, eles estarão usando o mapeamento conceitual como um recurso de aprendizagem. (Moreira, 2010, p.5)

Por fim, aprendizagem significativa “é aprendizagem com significado, compreensão, sentido, capacidade de transferência” (Moreira, 2000, p.7), que depende da intencionalidade de quem aprende, suas ideias prévias e da relevância do novo conhecimento. A evidência de uma aprendizagem significativa é a compreensão genuína de um conceito, com significados claros e precisos. Para verificá-la, são necessários métodos de avaliação diferenciados, como a resolução de atividades, questões e problemas relacionados ao conteúdo, mas não idênticos, ou “propor ao aprendiz uma tarefa de aprendizagem, sequencialmente dependente da outra, a qual não possa ser executada sem uma genuína compreensão da precedente” (Moreira, 2009, p.17).

3.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA

A aprendizagem significativa crítica, de acordo com Moreira (2000), permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, simultaneamente, estar fora dela. Ou seja, o sujeito vive na sociedade e se integra a ela e, ao mesmo tempo, atua criticamente, discernindo

quando o rumo está se perdendo. Permite ao sujeito compreender os significados que são socialmente construídos e contextualizados. De acordo com ele,

É através da aprendizagem significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias. É através dessa aprendizagem que ele poderá lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela, manejar a informação sem sentir-se impotente frente a sua grande disponibilidade e velocidade de fluxo, usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo. Por meio dela, poderá trabalhar com a incerteza, a relatividade, a não-causalidade, a probabilidade, a não-dicotomização das diferenças, com a idéia de que o conhecimento é construção (ou invenção) nossa, que apenas representamos o mundo e nunca o captamos diretamente. (Moreira, 2000, p.7)

Assim como Ausubel, Moreira propõe princípios, ideias e estratégias que facilitam a aprendizagem significativa crítica, são eles:

- *Princípio do conhecimento prévio. Aprendemos a partir do que já sabemos.* Para que a aprendizagem ocorra de forma significativa, é necessário considerar as ideias prévias dos alunos, “o conhecimento prévio, seja qual for ele (subsunçores, esquemas, construtos, representações, modelos mentais...), é a principal variável a influenciar a aquisição significativa de novos conhecimentos” (Moreira, 2000, p.8).
- *Princípio da interação social e do questionamento. Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas.* Uma forma de facilitar a aprendizagem significativa crítica é fazer com que ocorra uma interação entre professor e aluno, não da forma em que o professor pergunta e o aluno dá respostas prontas e corretas, mas uma interação com questionamentos de ambas as partes, e de forma crítica.

Quando o aluno formula uma pergunta relevante, apropriada e substantiva, ele utiliza seu conhecimento prévio de maneira não-arbitrária e não-literal, e isso é evidência de aprendizagem significativa. Quando aprende a formular esse tipo de questões sistematicamente, a evidência é de aprendizagem significativa crítica. Uma aprendizagem libertadora, crítica, detectora de bobagens, idiotices, enganações, irrelevâncias. (Moreira, 2000, p. 9)

- *Princípio da não centralidade do livro de texto. Do uso de documentos, artigos e outros materiais educativos. Da diversidade de materiais instrucionais.* Existem diversos recursos didáticos que podem ser utilizados em sala de aula, como “artigos científicos, contos, poesias, crônicas relatos, obras de arte e tantos outros materiais” (Moreira, 2000, p.10). Centrar o ensino em um material único, que contém “verdades absolutas”, faz com que haja uma aprendizagem dogmática e não crítica. Moreira defende que

A diversidade de materiais instrucionais em substituição ao livro de texto, tão estimulador da aprendizagem mecânica, tão transmissor de verdades, certezas,

entidades isoladas (em capítulos!), tão "seguro" para professores e alunos. Não se trata, propriamente, de banir da escola o livro didático, mas de considerá-lo apenas um dentre vários materiais educativos. Seguramente, há bons livros didáticos em qualquer disciplina, mas adotar um único como livro de texto, vai contra a facilitação da aprendizagem significativa crítica. É uma prática docente deformadora, ao invés de formadora, tanto para alunos como para professores. (Moreira, 2000, p.10)

- *Princípio do aprendiz como perceptor/representador.* O aluno não deve ser considerado apenas um receptor da matéria de ensino. Ele deve perceber e representar internamente aquilo que lhe é apresentado, o que depende de sua percepção prévia. Esta ideia vem da Psicologia Cognitiva Contemporânea que, segundo Moreira (2000),

Explicita a inutilidade de ensinar respostas certas, verdades absolutas, dicotomias, simetrias, localizações exatas, se o que queremos promover é a aprendizagem significativa crítica que pode ser entendida aqui como a capacidade de perceber a relatividade das respostas e das verdades, as diferenças difusas, as probabilidades dos estados, a complexidade das causas, a informação desnecessária, o consumismo, a tecnologia e a tecnofilia. A aprendizagem significativa crítica implica a percepção crítica e só pode ser facilitada se o aluno for, de fato, tratado como um *perceptor* do mundo e, portanto, do que lhe for ensinado, e a partir daí um *representador* do mundo, e do que lhe ensinamos. (Moreira, 2000, p.11)

- *Princípio do conhecimento como linguagem.* Para facilitar a aprendizagem significativa de um conteúdo, deve-se aprender a sua linguagem, que pode ser em forma de palavras ou outros instrumentos. Aprender a linguagem de maneira crítica, não arbitrária e não-literal, é percebê-la como uma nova forma de interpretar o mundo.
- *Princípio da consciência semântica.* Outra forma de facilitar a aprendizagem significativa crítica é ter consciência de que o significado está nas pessoas e não nas palavras, pois são as pessoas que dão significado às palavras. Também ter consciência que as palavras não são o que propositadamente se referem, e “que é variável a correspondência entre palavras e referentes verificáveis, ou seja, há níveis de abstração variáveis” (Moreira, 2000, p.13). Além disso, é preciso perceber que os significados das palavras podem mudar no decorrer do tempo. Tendo essa consciência semântica, o indivíduo

Não cairá na armadilha da causalidade simples, não acreditará que as respostas tem que ser necessariamente certas ou erradas, ou que as decisões são sempre do tipo sim ou não. Ao contrário, o indivíduo que aprendeu significativamente dessa maneira, pensará em escolhas ao invés de decisões dicotômicas, em complexidade de causas ao invés de supersimplificações, em graus de certeza ao invés de certo ou errado. (Moreira, 2000, p. 13)

- *Princípio da aprendizagem pelo erro.* Sabemos, pela evolução histórica da ciência, que algumas teorias, outrora corroboradas, hoje não são as mais cientificamente aceitas. Nesse processo de evolução, a ciência já passou por muitos erros, que foram necessários para que novas teorias surgissem. Não existem verdades absolutas, o erro faz parte da aprendizagem, “buscar sistematicamente o erro é pensar criticamente, é aprender a aprender, é aprender criticamente rejeitando certezas, encarando o erro como natural e aprendendo através de sua superação” (Moreira, 2000, p.14)
- *Princípio da desaprendizagem.* A aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se ancora em ideias existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Entretanto, como já mencionado, esse conhecimento prévio pode ser um obstáculo para a aprendizagem significativa. Neste caso, é necessário desaprender, ou seja, não utilizá-lo como subsunçor e superá-lo. “Aprender a desaprender, é aprender a distinguir entre o relevante e o irrelevante no conhecimento prévio e libertar-se do irrelevante, i.e., desaprendê-lo” (Moreira, 2000, p.16).
- *Princípio da incerteza do conhecimento.* O conhecimento humano é incerto e evolui historicamente, sua construção é feita pelas pessoas e, portanto, é sujeito a erros. “Nossa visão de mundo é construída primordialmente com as definições que criamos, com as perguntas que formulamos e com as metáforas que utilizamos. Naturalmente, estes três elementos estão inter-relacionados na linguagem humana” (Moreira, 2000, p. 17).
- *Princípio da não utilização do quadro-de-giz. Da participação ativa do aluno. Da diversidade de estratégias de ensino.* A utilização do quadro-de-giz, aqui, se refere ao ensino em que o professor escreve no quadro (ou faz uma apresentação de slides), os alunos copiam, para então reproduzir. Esse ensino deve ser substituído por metodologias diferentes, em que o aluno possa participar de forma ativa. “A não utilização do quadro-de-giz leva naturalmente ao uso de atividades colaborativas, seminários, projetos, pesquisas, discussões, painéis, enfim, a diversas estratégias, as quais devem ter subjacentes os demais princípios” (Moreira, 2000, p.18).
- *Princípio do abandono da narrativa. De deixar o aluno falar.* A metodologia de ensino mais utilizada é a que o professor narra, escreve no quadro, o aluno copia, memoriza e reproduz. Para complementar o abandono ao livro texto e ao quadro-de-giz, é necessário também, abandonar a narrativa do professor, pois não provoca

uma aprendizagem significativa crítica e de longa duração. O ensino deve ser centrado no aluno, sua participação e fala deve ser ativa, tendo o professor como mediador.

Deixar o aluno falar implica usar estratégias nas quais os alunos possam discutir, negociar significados entre si, apresentar oralmente ao grande grupo o produto de suas atividades colaborativas, receber e fazer críticas. O aluno tem que ser ativo, não passivo. Ela ou ele tem que aprender a interpretar, a negociar significados, tem que aprender a ser crítico e a aceitar a crítica. (Moreira, 2000, p. 19)

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: CONCEITOS FÍSICOS

A acústica é a área da Física que estuda o som, suas propriedades e aplicações tecnológicas. O som é uma onda mecânica, por esse motivo, é necessário partir o estudo teórico dos conceitos iniciais de ondulatória. Nas seções seguintes, será abordado o conceito de onda mecânica e suas características, para então, explorar assunto sobre ondas sonoras, como qualidades do som, alguns fenômenos sonoros e a aplicação na música.

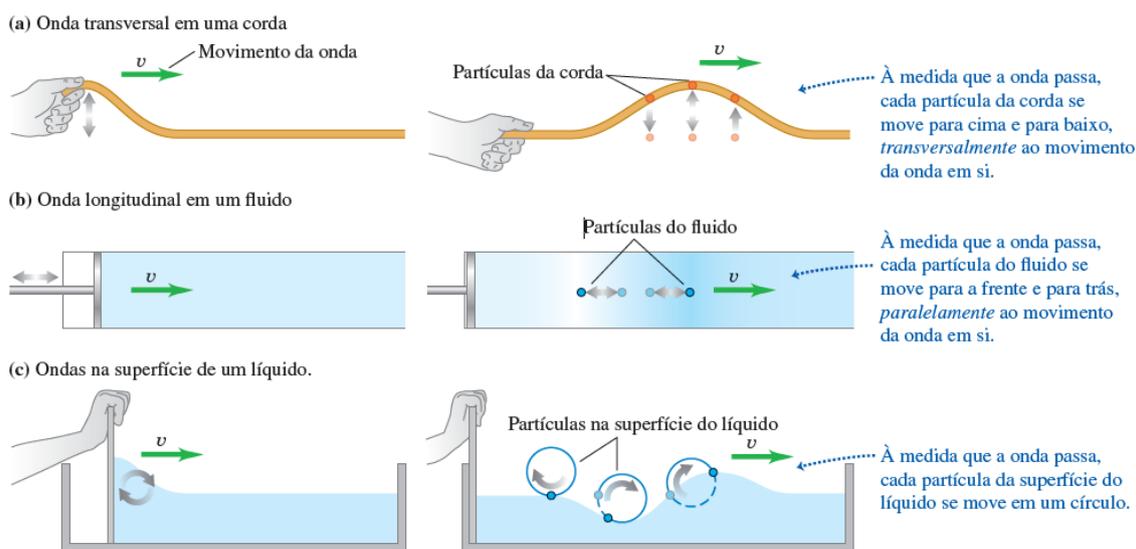
4.1 ONDAS MECÂNICAS

Uma onda é uma perturbação que se propaga de um ponto a outro, com transferência de energia, mas sem o transporte direto de matéria entre esses pontos. E de acordo com Lima (2012), essas perturbações podem ocorrer, por exemplo, na pressão e densidade do ar, em campos elétricos e magnéticos, na temperatura etc.

As ondas podem ser classificadas de acordo com a sua natureza: ondas de natureza mecânica se propagam pelos deslocamentos das partículas de um meio, portanto necessitam de um meio material para se propagar, como os gases, os líquidos e os sólidos. Já as ondas eletromagnéticas são geradas por oscilações nos campos elétrico e magnético, e deste modo, não necessitam de um meio material para se propagar. Neste trabalho, serão abordadas somente as ondas mecânicas.

Segundo Young e Freedman (2015), uma outra forma de classificar as ondas é pela sua forma de propagação. Elas podem ser transversais, longitudinais ou mistas, como se observa nas Figuras 1a, 1b e 1c, respectivamente. Uma onda é transversal quando sua direção de propagação é perpendicular à direção de vibração, como na Figura 1a, em que são gerados pulsos verticais (para cima e para baixo) em uma corda, que se propagam horizontalmente ao longo da corda. Já em uma onda longitudinal, a direção de propagação coincide com a direção de vibração, como na Figura 1b, em que são geradas vibrações horizontais ao se movimentar um pistão de um tubo com fluido, essas vibrações se propagam também horizontalmente por flutuações de pressão. Agora, se a onda possui componentes transversais e longitudinais, sua forma de propagação é mista, a Figura 1c mostra o exemplo de uma onda gerada em um líquido de um canal, cujas partículas se deslocam circularmente.

Figura 1 - Formas de propagação

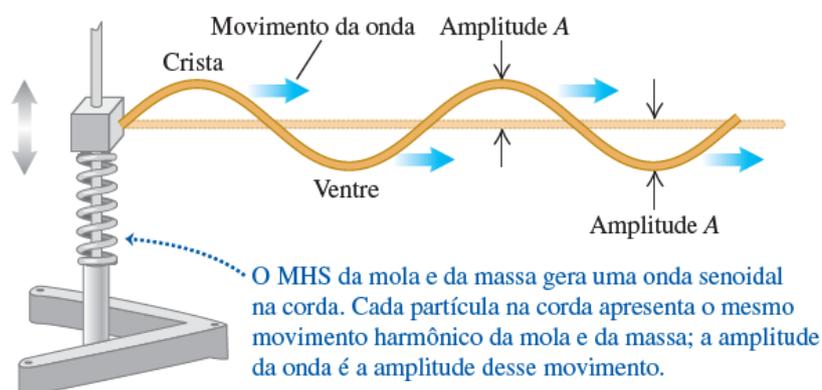


Fonte: Young e Freedman (2015)

4.2 ONDAS PERIÓDICAS

Quando a fonte de um pulso repete seu movimento de vibração periodicamente, por exemplo, em Movimento Harmônico Simples (MHS), a onda gerada é periódica (no caso, senoidal). Assim, as oscilações se repetem em um determinado instante de tempo, que define o **período de oscilação (T)**. Esta situação pode ser observada na Figura 2. Os pontos de altura máxima são chamados de cristas e oscilam em concordância de fase, bem como os pontos mínimos, chamados vales. A grandeza que indica a intensidade desses extremos é a **amplitude (A)**, que é medida em metros.

Figura 2 - Onda periódica



Fonte: Young e Freedman (2015)

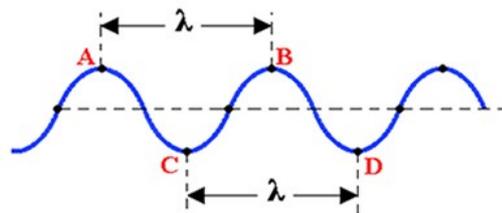
O número de oscilações por unidade de tempo define a **frequência (f)** do movimento periódico, que é medida em hertz (oscilações por segundo) no sistema internacional de unidades. A frequência, por definição, é o inverso do período T e está relacionada com a frequência angular ω por

$$f = \frac{1}{T} \quad (4.1)$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (4.2)$$

Como em uma onda periódica a configuração da oscilação se repete, a distância percorrida por ela em cada período é chamada de **comprimento de onda (λ)**. Esse comprimento é a distância de qualquer ponto (como uma crista ou um vale) até o ponto correspondente na próxima repetição, como os pontos A e B ou C e D da Figura 3.

Figura 3 – Comprimento de onda



Fonte: Disponível em <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ondas-periodicas.htm>. Acesso em jan. 2022.

A forma da onda se propaga com velocidade v , avançando uma distância equivalente a uma unidade do comprimento de onda λ no intervalo de um período T . Logo, $v = \frac{\lambda}{T}$, mas como $f = \frac{1}{T}$,

$$v = \lambda f \quad (4.3)$$

4.3 DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DAS ONDAS

Pode-se descrever diversas características das ondas por meio dos conceitos discutidos até aqui, entretanto, é necessária uma descrição mais detalhada do movimento dos elementos do meio em função do tempo durante a propagação da onda. Para essa descrição, é necessária uma função y que dependa da coordenada x e do tempo t ,

$$y = y(x, t)$$

Supondo uma partícula localizada em $x = 0$ (onde a corda começa), executando um MHS com amplitude A e frequência angular ω , seu deslocamento é dado por

$$y(x, t) = A \cos \omega t$$

A onda se propaga de $x = 0$ até um ponto x à direita em um intervalo $\frac{x}{v}$, substituindo t por $(t - \frac{x}{v})$:

$$y(x, t) = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right]$$

Como $\cos(-\theta) = \cos \theta$ podemos reescrever

$$y(x, t) = A \cos \left[\omega \left(\frac{x}{v} - t \right) \right]$$

Escrevendo a função de onda em termos do comprimento de onda $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2\pi v}{\omega}$ e do período $T = \frac{1}{f}$:

$$y(x, t) = A \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right]$$

Segundo Young e Freedman (2015), é conveniente definir uma grandeza k , em unidade de comprimento, denominada número de onda:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{4.4}$$

Substituindo $\lambda = 2\frac{\pi}{k}$ e $f = \frac{\omega}{2\pi}$, reescrevemos a função de onda na forma mais conhecida

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t) \tag{4.5}$$

Para encontrar a velocidade transversal (v_y de uma partícula em uma onda senoidal em um ponto x , como em uma corda, derivamos a função de onda $y(x, t)$ em relação a t , então

$$v_y(x, t) = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t}$$

$$v_y(x, t) = \omega A \sin(kx - \omega t) \tag{4.6}$$

A aceleração da partícula é a derivada de segunda ordem da função de onda, ou seja, a derivada parcial de $v_y(x, t)$ em relação a t ,

$$a_y(x, t) = \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 A \cos(kx - \omega t) = -\omega^2 y(x, t) \tag{4.7}$$

Também é possível calcular a derivada parcial da função de onda $y(x, t)$ em função de x . De acordo com Young e Freedman (2015), a primeira derivada $\frac{\partial y(x,t)}{\partial x}$ fornece a inclinação da corda e a segunda derivada $\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2}$ fornece a curvatura da corda, assim

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = -k^2 A \cos(kx - \omega t) = -k^2 y(x, t) \quad (4.8)$$

Dividindo (4.7) por (4.8) e sabendo que $v = \frac{\omega}{k}$, temos

$$v^2 = \frac{\omega^2}{k^2} = \frac{\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2}}{\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2}}$$

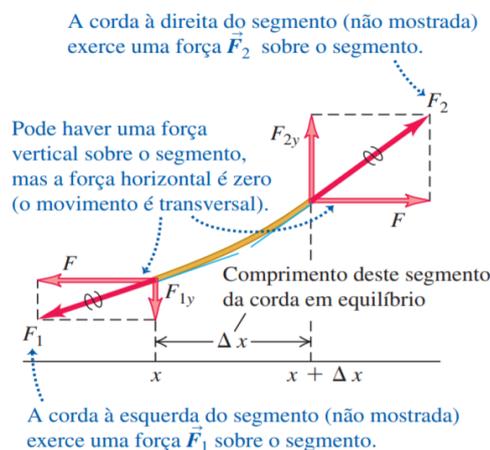
$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (4.9)$$

Esta equação (4.9) é conhecida como **equação de onda**.

4.4 VELOCIDADE DE UMA ONDA TRANSVERSAL EM UMA CORDA

Segundo Young e Freedman (2015), uma das propriedades principais de qualquer onda é a sua velocidade de propagação. Para deduzir a equação de movimento, pode-se utilizar um exemplo particular como modelo, o da onda transversal se propagando em uma corda, pois “as velocidades de muitos tipos de ondas mecânicas possuem expressões matemáticas basicamente iguais à expressão da velocidade da onda em uma corda” (YOUNG E FREEDMAN, 2015, p. 124).

Figura 4 - Diagrama de corpo livre de um segmento de corda



Fonte: Young e Freedman (2015)

Considere um segmento de corda em equilíbrio de comprimento igual a Δx , como mostra o diagrama de corpo livre da Figura 4. A porção de corda à esquerda do segmento exerce uma força \vec{F}_1 sobre ele e a porção de corda à direita exerce uma força \vec{F}_2 , de sentido contrário. Portanto, essas forças de tensão promovem um equilíbrio horizontal no segmento, logo as componentes dessas forças na direção x possuem o mesmo módulo e a força resultante é zero.

Seja μ a densidade linear de massa da corda, o elemento Δx do comprimento é:

$$m = \mu \Delta x$$

Assim, pode-se aplicar a segunda lei de Newton $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ na direção vertical para encontrar F_{1y} e F_{2y} . Essas forças podem ser obtidas levando em consideração que $\frac{F_{1y}}{F}$ e $\frac{F_{2y}}{F}$ são os módulos das inclinações da corda no ponto x e no ponto $x + \Delta x$, respectivamente. Também, lembrando que essa inclinação é dada pela derivada parcial da função de onda em relação a x ($\frac{\partial y(x,t)}{\partial x}$). Assim,

$$\frac{F_{1y}}{F} = -\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_x$$

$$\frac{F_{2y}}{F} = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{x+\Delta x}$$

Aplicando a segunda lei de Newton na direção vertical:

$$Fy = F_{1y} + F_{2y} = m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} F \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{x+\Delta x} - \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_x \right] = \mu \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (4.10)$$

Dividindo por $F\Delta x$:

$$\frac{\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{x+\Delta x} - \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_x}{\Delta x} = \frac{\mu}{F} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (4.11)$$

Para um Δx infinitesimal, a parte esquerda da equação pode ser substituída (lembrando da definição de derivada parcial) por $\partial^2 y / \partial x^2$, assim:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\mu}{F} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (4.12)$$

Esta equação (4.12) possui a mesma forma da equação de onda (4.9) e descrevem o mesmo movimento. Sendo assim, elas podem ser comparadas para que sejam idênticas:

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\mu}{F} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Portando,

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (4.13)$$

De acordo com Young e Freedman (2015), o estudo da velocidade da onda transversal em uma corda é importante, pois constitui uma parte essencial da análise de instrumentos musicais que possuem cordas esticadas. A equação (4.13) indica que “o aumento da tensão produz um aumento da força restauradora que tende a esticar a corda quando ela é perturbada, provocando um aumento na velocidade da onda” (YOUNG E FREEDMAN, 2015, p. 125). Além disso, o aumento da massa (densidade linear) faz o movimento ficar mais lento, causando uma diminuição da velocidade da onda.

Apesar de que a equação (4.13) tenha sido deduzida a partir de um caso particular, ela vale para qualquer movimento de ondas mecânicas sobre um fio ou corda esticados. Young e Freedman (2015) comentam que a expressão para o cálculo da velocidade de muitos tipos de ondas mecânicas possui a mesma forma geral:

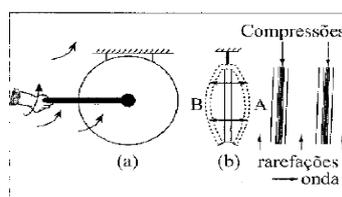
$$v = \sqrt{\frac{\text{Força restauradora devolvendo o sistema ao equilíbrio}}{\text{Inércia resistindo à volta ao equilíbrio}}} \quad (4.14)$$

Assim como as ondas transversais em cordas, a velocidade das ondas sonoras em um fluido também terá uma expressão semelhante. O papel da força restauradora, desempenhado pela tensão da corda, será exercido pela pressão do fluido, tendendo a devolver o estado de equilíbrio. Bem como a função da inércia que é exercida pela massa da corda, será dada pela densidade do gás, impedindo a volta instantânea ao equilíbrio.

4.5 SOM

O som é uma onda mecânica, gerada pela vibração de corpos e transmitida por um meio material, como os fluidos ou sólidos. De acordo com Nussenzveig (2002), a atmosfera não pode transmitir tensões tangenciais, de modo que as ondas sonoras na atmosfera são ondas longitudinais, associadas a pequenas variações de pressão.

Figura 5 – Gongu percutido



Fonte: Nussenzveig (2002)

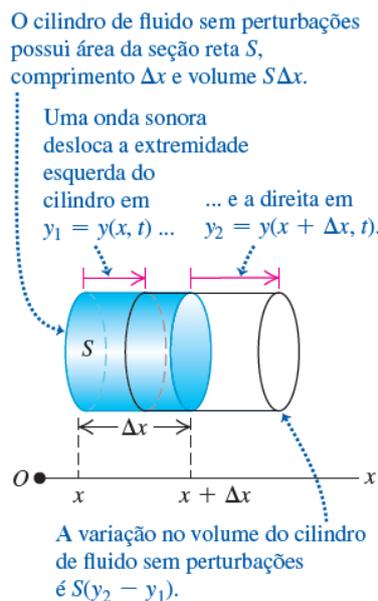
Em seu exemplo do gongo percutido (Figura 5), pode-se analisar a propagação do som: Ao golpear (Figura 5a), o gongo vibra entre as posições A e B (Figura 5b). Quando está na posição A, o gongo gera uma compressão e, quando está na posição B, gera uma região de rarefação. A onda sonora resulta da propagação das camadas de compressão e rarefação alternadas. Em outras palavras,

O deslocamento de ar provocado pelo gongo muda a densidade do ar na camada adjacente (condensação ou rarefação), o que provoca uma mudança de pressão (compressão ou descompressão). Por sua vez, a variação de pressão produz o deslocamento da camada de ar contígua, e assim por diante. (Nussenzveig, 2002, p. 123)

Para descrever as ondas sonoras em termos dessas variações de pressão, pode-se considerar $P(x, y)$ a flutuação instantânea da pressão em uma onda sonora para cada ponto x e instante t . Como a pressão flutua acima e abaixo da pressão atmosférica, a pressão absoluta em cada ponto será $P_a + P(x, y)$, em que P_a é a pressão atmosférica normal.

De acordo com Young e Freedman (2015), para observar a relação entre a flutuação de pressão $P(x, y)$ e o deslocamento $y(x, t)$ de uma onda sonora se propagando ao longo do eixo x , pode-se imaginar um cilindro composto por um fluido ondulatório, como na Figura 6.

Figura 6 - Cilindro de fluido



Fonte: Young e Freedman (2015)

Sem a presença de ondas sonoras, o volume do cilindro de fluido é o produto da área da seção reta S pelo comprimento Δx , logo $V = S\Delta x$. Quando há uma onda sonora, a extremidade em x é deslocada para y_1 e a extremidade em $x + \Delta x$ é deslocada para y_2 , como mostra a Figura 6 (YOUNG E FREEDMAN, 2015).

A variação de volume é

$$\Delta V = S(y_2 - y_1) = S[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]$$

No limite $\Delta x \rightarrow 0$, a variação relativa de volume de dV/V é

$$\begin{aligned} \frac{dV}{V} &= \frac{S[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]}{S\Delta x} \\ \frac{dV}{V} &= \frac{\partial y(x, t)}{\partial x} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Essa variação de volume por unidade de volume é chamada deformação volumétrica. De acordo com Young e Freedman (2008), quando a lei de Hooke é obedecida, um aumento de pressão (tensão volumétrica) corresponde a uma deformação volumétrica proporcional (variação de volume). O módulo de elasticidade correspondente é chamado **módulo de compressão (B)**, que é

$$B = \frac{\text{Tensão volumétrica}}{\text{Deformação volumétrica}}$$

No caso das flutuações de pressão do cilindro de fluido da Figura 6, o módulo de compressão é

$$B = \frac{-P(x, t)}{\left(\frac{dV}{V}\right)}$$

O sinal negativo foi adicionado, pois um aumento de pressão sempre produz uma diminuição de volume. Explicitando $P(x, y)$ em termos da equação 4.6,

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

Segundo Young e Freedman (2015), quando $\partial y(x, t)/\partial x$ é positivo, o deslocamento do ponto $x + \Delta x$ é maior que no ponto x , correspondendo a um aumento de volume e a uma diminuição da pressão, ou seja, uma flutuação negativa da pressão. Quando se calcula $\partial y(x, t)/\partial x$ para a onda senoidal da equação 4.5, obtêm-se

$$P(x, y) = BkA \sin(kx - \omega t) \quad (4.16)$$

A grandeza BkA representa a flutuação máxima de pressão. Essa grandeza é chamada de **amplitude da pressão**, sendo designada por $P_{m\acute{a}x}$:

$$P_{m\acute{a}x} = BkA \quad (4.17)$$

Onde o número de onda k é dado por $k = 2\pi/\lambda$. De acordo com Young e Freedman (2015), para uma certa amplitude A , ondas com comprimentos de onda λ curtos apresentam variaoes de pressão maiores, pois os máximos e mínimos são comprimidos e se aproximam. Um meio com elevado módulo de compressão B é menos compressível, ou seja, uma pressão mais elevada é necessária para produzir uma dada variação de volume (amplitude de deslocamento).

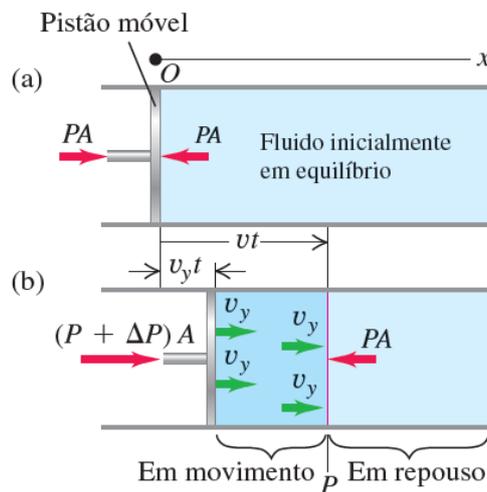
4.6 VELOCIDADE DAS ONDAS SONORAS

Como já abordado anteriormente, a expressão para a velocidade das ondas mecânicas, no geral, tem forma da equação 4.14:

$$v = \sqrt{\frac{\text{Força restauradora devolvendo o sistema ao equilíbrio}}{\text{Inércia resistindo à volta ao equilíbrio}}}$$

Para deduzir a expressão específica para as ondas sonoras, considera-se uma onda sonora no interior de um tubo com uma seção reta de área A , que contem um fluido de densidade ρ , como na Figura 7.

Figura 7 - Onda sonora se propagando em um tubo



Fonte: Young e Freedman (2015)

A onda sonora provoca compressões e expansões nesse fluido. No estado de equilíbrio (Figura 7a), o fluido está submetido a uma pressão uniforme P . O deslocamento

do pistão da esquerda para a direita provoca um movimento ondulatório, no qual porções de fluido começam a se mover e se comprimir. A Figura 7b ilustra o tubo no instante t , em que o pistão foi deslocado uma distância $v_y t$. As seções de fluido mais próximas do pistão se movem com velocidade v_y da esquerda para a direita, enquanto as partes mais distantes ainda se encontram em repouso. A divisa entre essas partes do fluido se desloca da esquerda para a direita com uma velocidade v igual a de propagação da onda.

A quantidade de fluido que entra em movimento no instante t possui um volume vtA e uma massa de ρvtA . O momento linear longitudinal dessa quantidade de fluido é

$$\text{Momento linear longitudinal} = (\rho vtA)v_y$$

A força restauradora da expressão 4.14 está relacionada com a facilidade ou a dificuldade de comprimir o fluido, ou seja, com o módulo de compressão que, como foi visto anteriormente, é dado por:

$$B = \frac{-\text{Variação da pressão}}{\text{Fração da variação de volume}}$$

O volume original que se move Avt , diminui por um valor $Av_y t$, assim

$$B = \frac{-\Delta P}{\frac{-Av_y t}{Avt}}$$

Logo a variação de pressão é

$$\Delta P = B \frac{v_y}{v}$$

Sabe-se que a variação do momento linear durante um intervalo de tempo é igual ao impulso da força resultante que atua sobre o fluido (teorema do impulso-momento linear). Essa força resultante é ΔPA e o impulso longitudinal é

$$\text{Impulso longitudinal} = \Delta PA t = B \frac{v_y}{v} At$$

Como o fluido estava em repouso no instante inicial, o teorema do impulso-momento linear fica

$$B \frac{v_y}{v} At = (\rho vtA)v_y$$

Isolando v ,

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (4.18)$$

Velocidade das ondas sonoras em um fluido

Cabe ressaltar também que o módulo de compressão em um gás depende de sua pressão “quanto maior a pressão aplicada a um gás para comprimi-lo, mais ele resiste a uma compressão adicional e, portanto, maior o módulo de compressão” (YOUNG E FREEDMAN, 2015, p.162), que pode ser dado por

$$B = \gamma P_0$$

, onde P_0 é a pressão de equilíbrio do gás e γ é uma grandeza denominada razão das capacidades caloríficas, que caracteriza as propriedades térmicas de um gás. Além disso, a densidade ρ de um gás também depende da pressão, que, por sua vez, depende da temperatura. De acordo com Young e Freedman (2015), no fim das contas, a razão B/ρ para um gás específico não depende da pressão, apenas da temperatura. Assim a equação 4.18 fica

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

, onde T é a temperatura absoluta em kelvins (K), M é a massa molar e R é a constante do gás.

O mesmo raciocínio utilizado para deduzir a equação 4.18 pode ser usado para encontrar a velocidade das ondas sonoras em um meio sólido, como uma barra, basta lembrar que a barra pode se deformar lateralmente, logo

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (4.19)$$

Velocidade das ondas sonoras em um sólido

Em que Y é o módulo de Young do material da barra (tensão de dilatação/deformação de dilatação).

4.7 QUALIDADES SONORAS

As características das ondas sonoras interferem diretamente em como o som será percebido por um ouvinte. A amplitude da pressão de uma onda sonora senoidal caracterizará a intensidade do som percebido, a frequência da onda determinará a altura

desse som, permitindo diferenciar sons graves de sons agudos, e o timbre permite diferenciar dois sons de mesma altura e intensidade, mas emitidos por fontes distintas, por possuírem quantidades diferentes dos diversos harmônicos. Essas qualidades do som serão discutidas nos itens abaixo.

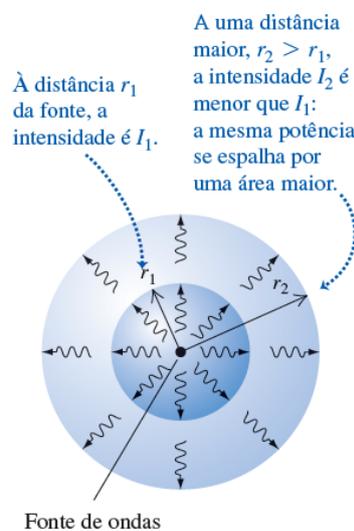
4.7.1 Intensidade

As ondas sonoras, assim como outros tipos de ondas, transportam energia em todas as direções do espaço, a partir de uma fonte sonora. Assim, pode-se considerar que essa energia é distribuída radialmente por uma esfera, como ilustra a Figura 8.

A intensidade da onda é “a taxa média de tempo em que a energia é transportada pela onda, por unidade de área, sobre uma superfície perpendicular à direção de propagação” (YOUNG E FREEDMAN, 2015, p. 131). Sendo assim, a intensidade é potência média por unidade de área, ou seja,

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (4.20)$$

Figura 8 - Intensidade sonora



Fonte: Young e Freedman (2015)

Pode-se observar que a intensidade da onda é inversamente proporcional ao quadrado do raio. Isso significa que quanto maior a distância da fonte, menor a intensidade do som, pois a potência se espalha por uma área maior.

Para encontrar a intensidade de uma onda sonora em um fluido em termos da amplitude do deslocamento A ou da amplitude da pressão $P_{máx}$, pode-se considerar uma

onda sonora se propagando no sentido positivo do eixo x . A potência (Pot) é o produto da força pela velocidade, logo a intensidade é

$$I = \frac{Pot}{A} = \frac{F \cdot v}{A}$$

Como a flutuação da pressão é a razão da força sobre a área e considerando velocidade da partícula $v_y(x, t)$,

$$I = P(x, y)v_y(x, t)$$

Usando as equações 4.6 e 4.16:

$$I = Bk\omega A^2 \sin^2(kx - \omega t)$$

Para qualquer valor de x , a função $\sin^2(kx - \omega t)$ ao longo de um período $T = 2\pi/\omega$ é igual a $1/2$, logo

$$I = \frac{1}{2}Bk\omega A^2 \quad (4.21)$$

Utilizando as relações $\omega = vk$ e $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$, obtém-se

$$I = \frac{1}{2}\sqrt{\rho B}\omega^2 A^2 \quad (4.22)$$

É interessante também representar a intensidade em termos da amplitude de pressão $P_{m\acute{a}x}$, assim utilizando as equações 4.21 e 4.17,

$$I = \frac{1}{2}P_{m\acute{a}x}\omega A$$

Como $\omega = vk$

$$I = \frac{vP_{m\acute{a}x}^2}{2B} \quad (4.23)$$

Como $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$, também pode-se escrever

$$I = \frac{P_{m\acute{a}x}^2}{2\sqrt{\rho B}} = \frac{P_{m\acute{a}x}^2}{2\rho v} \quad (4.24)$$

Percebe-se em 4.24 que a intensidade não depende da frequência, por isso para medi-la, de acordo com Nussenzveig (2002), é mais conveniente utilizar detectores de variações de pressão do que de deslocamento, pois ao medir a amplitude de pressão pode-se comparar diretamente resultados obtidos para sons com diferentes frequências.

O som mais fraco que pode ser ouvido possui uma intensidade que corresponde ao limiar de audibilidade, cujo valor depende da frequência. Para uma frequência de 10^3 Hz , é dado por

$$I_0 \approx 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

Já o limiar de sensação dolorosa, ou seja, a intensidade sonora máxima que o ouvido humano pode aguentar, para uma frequência de 10^3 Hz , é dado por

$$I_m = 1 \frac{W}{m^2}$$

Como o ouvido humano é sensível a um grande intervalo de intensidade, na prática, no lugar da intensidade, costuma-se utilizar o **nível de intensidade sonora**, que é medido em escala logarítmica, de modo que “incrementos iguais na escala correspondem a fatores iguais de aumento na intensidade” (NUSSENZVEIG, 2002, p.131). A unidade de nível de intensidade é o bel, porém na prática usa-se o decibel, em que $1 \text{ dB} = 0,1 \text{ B}$ e é dado por

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (4.25)$$

A intensidade de referência escolhida é o limiar de audibilidade I_0 . A Figura 9 ilustra uma tabela que contém os níveis de intensidade sonora de alguns sons familiares.

Figura 9 - Níveis de intensidade sonora

Fonte ou descrição do som	Nível de intensidade sonora, β (dB)	Intensidade I (W/m^2)
Avião a jato militar a 30 m de distância	140	10^2
Limiar da dor	120	1
Martelete pneumático	95	$3,2 \times 10^{-3}$
Trem em um elevador	90	10^{-3}
Tráfego pesado	70	10^{-5}
Conversa comum	65	$3,2 \times 10^{-6}$
Automóvel silencioso	50	10^{-7}
Rádio com volume baixo	40	10^{-8}
Sussurro médio	20	10^{-10}
Ruído de folhas	10	10^{-11}
Limiar da audição a 1.000 Hz	0	10^{-12}

Fonte: Young e Freedman (2015)

4.7.2 Altura

A altura de um som corresponde à sensação que nos permite diferenciar sons graves e agudos, caracterizada pela frequência da onda sonora. Quanto maior for a frequência, mais agudo será o som. Sons mais graves correspondem a frequências mais baixas.

Segundo Young e Freedman (2015), o ouvido humano é sensível aos sons com frequências entre 20 e 20000 Hz, que correspondem ao chamado intervalo audível. Os sons de frequência acima de 20000 Hz são chamados ultrassons e os sons abaixo de 20 Hz são os infrassons. Essas frequências, apesar de não serem percebidas pela audição humana, são audíveis para alguns animais e são muito utilizadas em aplicações tecnológicas.

4.7.2.1 Notas e escalas musicais

As notas musicais são sons com frequências específicas e bem determinadas. Porém, na música, essas frequências não são representadas por números (ex. 440 Hz), mas por nomes próprios ou notas, por exemplo: DÓ, RÉ, MI, FÁ, SOL, LÁ, SI, DÓ..., que corresponde a uma escala.

Uma escala musical é uma sequência ordenada de notas. Existem diversas escalas musicais, que são montadas de acordo com um intervalo acústico. Intervalo acústico é a distância entre um som (frequência) e outro. Matematicamente, o intervalo entre duas notas musicais de frequências f_1 e f_2 é definido pela razão entre essas duas frequências:

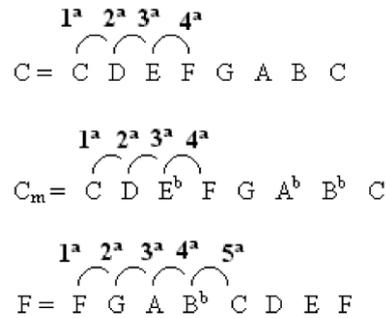
$$i = \frac{f_2}{f_1}$$

Na música é dada uma nomenclatura para cada intervalo, quando $f_2 = 2f_1$, o intervalo é chamado de oitava e as frequências f_1 e f_2 correspondem a “mesma” nota musical, porém em alturas diferentes (NUSSENZVEIG, 2002).

O intervalo entre duas notas também pode ser definido por números “que relacionam a posição entre a nota e a primeira da escala a que esta pertence” (JULIANI, p. 12, 2003). Por exemplo, o intervalo entre as notas C (dó) e E (mi) é uma terça maior, pois E é a terceira nota da escala de C maior, como pode ser observado na Figura 10. Já

o intervalo de C (dó) a F (fá) é uma quarta (maior ou menor) pois F é a quarta nota, tanto da escala de C quanto de Cm.

Figura 10 - Intervalos



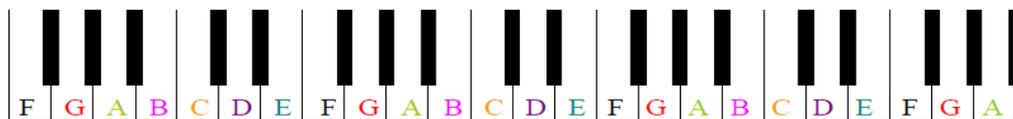
Fonte: Juliani (2003)

Em uma escala temperada, de acordo com Juliani (2003), a oitava é dividida em 12 partes iguais, os chamados semitons. A altura de cada semitom irá diferir do anterior de $2^{\frac{1}{12}}$ e o tom de $2^{\frac{2}{12}}$.

Existem escalas maiores e menores. Na escala maior, há cinco tons e dois semitons que obedecem a sequência *tom, tom, semitom, tom, tom, tom e semitom* e a escala menor obedece a sequência *tom, semitom, tom, tom, semitom, tom e tom* (JULIANI, 2003).

Na Figura 11, Juliani (2003) indicou as notas correspondentes a cada tecla do teclado de um piano de acordo com o algoritmo desenvolvido por Guido d'Arezzo. As teclas brancas correspondem às notas naturais e as teclas pretas correspondem às notas acidentadas (bemóis e/ou sustenidos).

Figura 11 - Teclado de um piano



Fonte: Juliani (2003)

O intervalo de uma tecla para a outra é de um semitom, por exemplo: a primeira tecla branca é a nota Fá (F), após um semitom, há uma tecla preta que corresponde ao Fá# (sustenido) ou Gb (bemol) e, após mais um semitom, há a segunda tecla branca que emite a nota Sol (G). Portanto, entre as notas naturais F e G (naturais) há um tom.

Os pitagóricos foram os primeiros a descobrir que os sons emitidos por uma corda vibrante são harmoniosos se o comprimento da corda for dividido seguindo simples proporções (NUSSENZVEIG, 2002). Por exemplo, se o comprimento de uma corda for reduzido à metade (2:1), o som emitido estará uma oitava acima. Portanto, eles relacionaram os intervalos musicais com o comprimento de uma corda vibrante que obedece a razões bem determinadas. De acordo com Juliani, mais tarde Gioseffe Zarlino (1517 – 1590) propôs algumas simplificações, cujo resultado é mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Relação entre o intervalo e o comprimento da corda

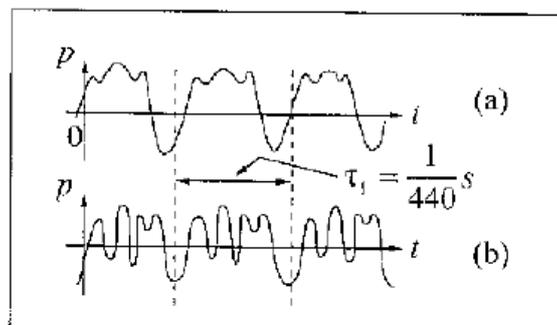
<i>Intervalo</i>	<i>Razão entre o comprimento das cordas</i>
Oitava	2:1
Quinta	3:2
Quarta	4:3
Sexta	5:3
Terça	5:4
Segunda	9:8
Sétima	15:8

Fonte: Juliani (2003)

4.7.3 Timbre

Quando um instrumento é tocado, por exemplo um violão, além de suas cordas emitirem um som com tom fundamental de frequência f_1 , também é gerada uma superposição de tons harmônicos, de frequências $f_n = nf_1$, $f_3 = 3f_1$, etc. Assim, de acordo com Nussenzveig (2002), as diferentes proporções em que são emitidos esses tons harmônicos definem o timbre do som (Figura 13).

Figura 13 - Timbre



Fonte: Nussenzveig (2002)

A Figura 13 mostra ondas sonoras que correspondem a nota lá (440Hz), emitidas por duas fontes diferentes em (a) e em (b). O ouvido humano reconhece ambos os sons como a nota lá, mesmo eles possuindo perfis de onda diferentes, basta que tenham o mesmo período. Neste caso, o que difere os sons é o timbre, o som em (b) é mais rico em harmônicos de ordem mais elevada do que o som em (a), embora tenham o mesmo tom fundamental (NUSSENZVEIG, 2002).

4.8 FENÔMENOS SONOROS

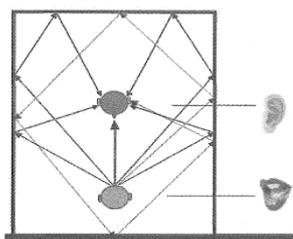
As ondas sonoras obedecem aos mesmos fenômenos que ocorrem com as ondas no geral, como a reflexão, a refração, a difração e a interferência, exceto a polarização por conta de sua natureza de propagação (longitudinal). Neste trabalho, optou-se por abordar os fenômenos sonoros mais perceptíveis no cotidiano: a reflexão, a ressonância e o efeito doppler.

4.8.1 Reflexão

De acordo com Lima (2012), a reflexão ocorre quando parte da energia de uma onda, que incide na interface entre dois meios, é reenviada para o meio de origem na forma de onda refletida, podendo interferir com a onda emitida diretamente e originar efeitos sonoros como o eco e a reverberação.

Para estudar esses efeitos sonoros, se define a persistência auditiva, que é o intervalo de tempo mínimo entre a chegada de dois sons ao ouvinte para que ele consiga diferenciar ambos os sons, separadamente. Esse intervalo, para o ser humano, está compreendido entre 0,05 s e 0,1 s.

Figura 14 - Reverberação – múltiplas reflexões



Fonte: Lima (2012)

A reverberação ocorre quando ondas sonoras provenientes de múltiplas reflexões (Figura 14) se misturam com o som original, produzindo efeitos que podem reforçar ou prolongar o som original. Esses efeitos sonoros podem ser observados, normalmente, em salas de grandes dimensões.

Caso a diferença entre os instantes em que o som direto e o som refletido chegam ao ouvinte seja maior que a persistência auditiva, será gerado o eco e o ouvinte escutará dois sons distintos. Este efeito é muito utilizado na medicina e no mecanismo dos radares.

Quando uma onda encontra a interface entre dois meios, além da reflexão, também ocorre a transmissão de parte da onda. Esses dois fenômenos ocorrem porque os dois meios distintos possuem densidades e módulo de compressibilidade diferentes, fazendo com que o som tenha diferentes velocidades de propagação.

Portanto, de acordo com Lima (2012), parte da onda sonora incidente de intensidade I_i é transmitida para o segundo meio (I_t) e outra parte é refletida para o meio de origem (I_r), mas ambas mantêm a frequência da onda incidente. Para definir quais frações de energia estão envolvidas em cada um desses processos, utiliza-se o coeficiente de reflexão R e o coeficiente de transmissão T :

$$R = \frac{I_r}{I_i} \quad T = \frac{I_t}{I_i} \quad (4.20)$$

Essa distribuição da energia na reflexão e na refração depende de uma grandeza chamada impedância acústica. Portanto, para seguir com o estudo da reflexão sonora em termos geométricos, será interessante introduzir esse conceito.

4.8.1.1 Impedância acústica

De acordo com Lima (2012), as ondas sonoras são vibrações em um meio material que se propagam por meio de compressões e rarefações, ou seja, de um alternar de regiões de alta e baixa pressão das partículas que compõem o meio. Segundo o autor, o conceito de impedância acústica está relacionado “com uma oposição, ou atraso, produzidos por um dado componente acústico, sistema ou meio, ao movimento das partículas ou à progressão da energia sonora” (LIMA, 2012, p.147). Quanto maior a impedância acústica, menor será a intensidade das respostas induzidas por estímulos de pressão.

Para uma dada superfície onde se propaga uma onda sonora, a impedância (Z) está relacionada com a pressão sonora na superfície (p) e com o fluxo total das partículas em

vibração através desta (ou seja, a velocidade das partículas multiplicada pela área da superfície). Sendo assim

$$Z = \frac{p}{v_y S} [Nsm^{-5}] \quad (4.26)$$

Quando se considera uma onda sonora, para pequenas amplitudes e em um determinado ponto do meio, a relação constante entre a pressão p e a velocidade das partículas v_y define a impedância específica z , num ponto e para uma dada frequência, ou seja,

$$z = \frac{p}{v_y} \quad (4.27)$$

, com dimensões de $[M][L^{-2}][T^{-1}]$ e pode ser expressa em rayl, onde o rayl equivale a $[Nsm^{-3}]$ (LIMA, 2012). A diferença entre a impedância acústica e a impedância acústica específica é a especificação da impedância em um ponto, comparando com a média na superfície. Assim

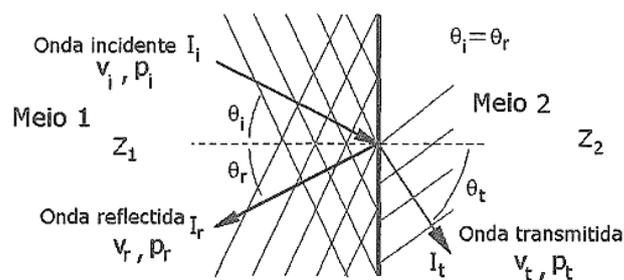
$$z = ZS$$

O modo como a energia é distribuída na reflexão e na refração, quando as ondas incidem na interface entre dois meios, depende da diferença de impedância acústica específica entre os meios (LIMA, 2012).

4.8.1.2 Reflexão sonora – estudo geométrico

O esquema da situação em que uma onda incide na interface entre dois meios, para o estudo em termos geométricos, pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Reflexão e Refração



Fonte: Lima (2012)

A velocidade das partículas (v), a pressão acústica (p) e o ângulo com a normal (θ) são ilustrados com índices “i” para a onda incidente (I_i), “r” para a onda refletida (I_r) e “t” para a onda transmitida (I_t). A lei da reflexão diz que

$$\theta_i = \theta_r$$

E a lei da refração (lei de Snell) diz que

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Considerando as velocidades das partículas das três ondas,

$$v_{yi} = \frac{p_i}{z_1}$$

$$v_{yr} = \frac{p_r}{z_1}$$

$$v_{yt} = \frac{p_t}{z_2}$$

onde, z_1 é a impedância acústica do meio 1 e z_2 é a impedância acústica do meio 2.

A componente resultante das velocidades das partículas, na direção normal à interface, tem que ser igual nos dois sentidos, para que possam se cancelar (se não, os meios se separariam) então:

$$v_{yi}\cos\theta_i - v_{yr}\cos\theta_r = v_{yt}\cos\theta_t$$

Sendo contínua a pressão acústica através da interface,

$$\frac{p_i}{z_1}\cos\theta_i + \frac{p_r}{z_1}\cos(\pi - \theta_r) = \frac{p_t}{z_2}\cos\theta_t$$

Como a igualdade das pressões acústicas nos dois lados, $p_i - p_r = p_t$, tem que ser verificada, então

$$p_i \left(\frac{\cos\theta_i}{z_1} - \frac{\cos\theta_t}{z_2} \right) = p_r \left(\frac{\cos\theta_i}{z_1} + \frac{\cos\theta_t}{z_2} \right)$$

O coeficiente de reflexão R pode ser dado em termos das pressões:

$$r = \frac{p_r}{p_i} = \frac{\left(\frac{\cos\theta_i}{z_1} - \frac{\cos\theta_t}{z_2} \right)}{\left(\frac{\cos\theta_i}{z_1} + \frac{\cos\theta_t}{z_2} \right)}$$

$$r = \frac{z_2\cos\theta_i - z_1\cos\theta_t}{z_2\cos\theta_i + z_1\cos\theta_t} \quad (4.28)$$

Ou em termos das energias:

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{p_r}{p_i}\right)^2 = \left[\frac{\left(\frac{\cos\theta_i}{z_1} - \frac{\cos\theta_t}{z_2}\right)}{\left(\frac{\cos\theta_i}{z_1} + \frac{\cos\theta_t}{z_2}\right)}\right]^2$$

$$R = \left(\frac{z_2\cos\theta_i - z_1\cos\theta_t}{z_2\cos\theta_i + z_1\cos\theta_t}\right)^2 \quad (4.29)$$

O coeficiente de transmissão T também pode ser dado em termos das pressões:

$$t = \frac{p_t}{p_i} = 1 - \frac{p_r}{p_i} = \frac{2z_2\cos\theta_i}{z_2\cos\theta_i + z_1\cos\theta_t} \quad (4.30)$$

$$T = 1 - R = \frac{4z_1z_2\cos\theta_i\cos\theta_t}{(z_2\cos\theta_i + z_1\cos\theta_t)^2} \quad (4.31)$$

Se a onda incide perpendicularmente à interface entre os dois meios:

$$\theta_i = \theta_r = 0$$

então:

$$R = \left(\frac{z_2 - z_1}{z_1 + z_2}\right)^2 \quad r = \frac{z_2 - z_1}{z_1 + z_2} \quad (4.32)$$

$$T = \frac{z_1z_2}{(z_1 + z_2)^2} \quad t = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} \quad (4.33)$$

De acordo com Lima (2012), pode-se concluir que haverá grande reflexão do som sempre que haja grandes gradientes espaciais de impedância acústica, com essas equações, pode-se identificar três situações marcadamente distintas:

- 1) $z_2 \gg z_1, r \rightarrow 1$, (fronteira rígida), a maior parte da energia é refletida sem ocorrer mudança de fase.
- 2) $z_2 \ll z_1, r \rightarrow -1$, (fronteira de liberação de pressão), a maior parte da energia acústica é refletida com mudança de fase de 180 graus.
- 3) $z_2 = z_1, r = 0$, (Não ocorre reflexão)

Sendo assim, a reflexão aumenta quando a diferença entre as impedâncias acústicas dos meios z_1 e z_2 aumenta. Essa “refletividade” é muito utilizada na ecografia, em exames médicos de formação de imagem, a Figura 16 mostra esse valor para algumas interfaces biológicas, obtidas quando $\theta_i = \theta_t = 0$.

Figura 16 - Refletividade

Interface	Reflectividade
Cérebro-ossos do crânio	0,66
Gordura-osso	0,69
Músculo-sangue	0,03
Músculo-fígado	0,01
Tecido mole-ar	0,9995

Fonte: Lima (2012)

4.8.2 Ressonância

Outro fenômeno que é abordado em acústica é a ressonância sonora, que também ocorre com outros sistemas, como as oscilações de um pêndulo, dos átomos de um sólido, dos elétrons em uma antena, etc. Naturalmente, as oscilações desses sistemas são amortecidas, ou seja, sua energia diminui com o tempo, devido às forças dissipativas envolvidas. Entretanto, se um estímulo externo for aplicado ao sistema, de forma a compensar essa energia dissipada, as oscilações podem ser mantidas.

Para representar de forma simples um sistema com essas características, pode-se estudar o oscilador harmônico amortecido forçado (OHF) utilizando um sistema massa mola, em que um bloco de massa m desliza sobre um plano horizontal com atrito. Suponha que o sistema é submetido a uma força externa senoidal de frequência angular ω :

$$F(t) = F_0 \sin(\omega t) \quad (4.34)$$

O comportamento desse sistema pode ser descrito pela equação:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \sin(\omega t) \quad (4.35)$$

, onde b é a constante de amortecimento e k a constante elástica da mola.

Chamando a **frequência natural de oscilação** livre do sistema de ω_0 , em que

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

Dividindo todos os membros da equação 4.35 por m :

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \sin(\omega t) \quad (4.36)$$

Para resolver essa equação diferencial de segunda ordem não-homogênea, pode-se somar a solução geral da equação homogênea associada com uma solução particular da equação não-homogênea. A solução geral da equação homogênea corresponde às oscilações amortecidas, que tendem a ser dissipadas, de modo que as oscilações forçadas devem persistir, até que somente elas sobrevivam, correspondendo então a solução particular da equação não-homogênea.

A solução geral para 4.36 deve ter a forma

$$x(t) = Ae^{i\omega t}$$

Onde $x(t)$ é uma solução que envolve funções de variáveis complexas. Substituindo em 4.36:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \gamma \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 x(t) = \frac{F_0}{m} e^{i\omega t}$$

De modo que basta achar uma solução particular dessa equação e tomar sua parte imaginária. Derivando $x(t)$:

$$Ae^{i\omega t}(-\omega^2 + i\omega\gamma + \omega_0^2) = \frac{F_0}{m} e^{i\omega t}$$

Então

$$A = \frac{F_0}{m(-\omega^2 + i\omega\gamma + \omega_0^2)}$$

“A” é uma solução particular, que possui variáveis imaginárias, sendo assim pode ser descrito como

$$a + ib = \sqrt{a^2 + b^2} e^{i\alpha}$$

Portanto,

$$A = \frac{e^{-i\alpha} F_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega\gamma)^2} m}$$

Onde

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\omega\gamma}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

Voltando para a solução $x(t) = Ae^{i\omega t}$:

$$x(t) = \frac{e^{-i\alpha} F_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega\gamma)^2} m} e^{i\omega t}$$

$$x(t) = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega\gamma)^2}} e^{i(\omega t - \alpha)}$$

Tomando a parte imaginária de $x(t)$ para obter a solução geral

$$x(t) = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega\gamma)^2}} \sin(\omega t - \alpha)$$

Introduzindo uma grandeza chamada $A(\omega)$, dada por

$$A(\omega) = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega\gamma)^2}} \quad (4.37)$$

Finalmente, a solução estacionária é

$$x(t) = A(\omega) \sin(\omega t - \alpha) \quad (4.38)$$

Esta solução particular corresponde a uma oscilação de mesma frequência que a força externa, amplitude $A(\omega)$ e defasagem α em relação à força externa. Também pode-se encontrar a velocidade em função do tempo:

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \omega A(\omega) \cos(\omega t - \alpha)$$

e a aceleração:

$$a(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2} = -\omega^2 A(\omega) \sin(\omega t - \alpha)$$

Na equação 4.37, pode-se observar que a amplitude $A(\omega)$ do sistema será máxima quando a frequência externa ω for aproximadamente igual a frequência natural de oscilação ω_0 . Esta é a condição para que ocorra a ressonância, com o aumento da amplitude o sistema pode não aguentar a oscilação e romper, como o clássico exemplo da taça de cristal que é quebrada com a voz.

Considerando um sistema ideal em que não haja amortecimento, ou seja, $\gamma = 0$, a amplitude da equação 4.37 fica

$$A(\omega) = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

A análise da ressonância fica bem mais evidente, quando $\omega \rightarrow \omega_0$, a amplitude $A(\omega) \rightarrow \infty$, conseqüentemente a velocidade e a aceleração também aumentam.

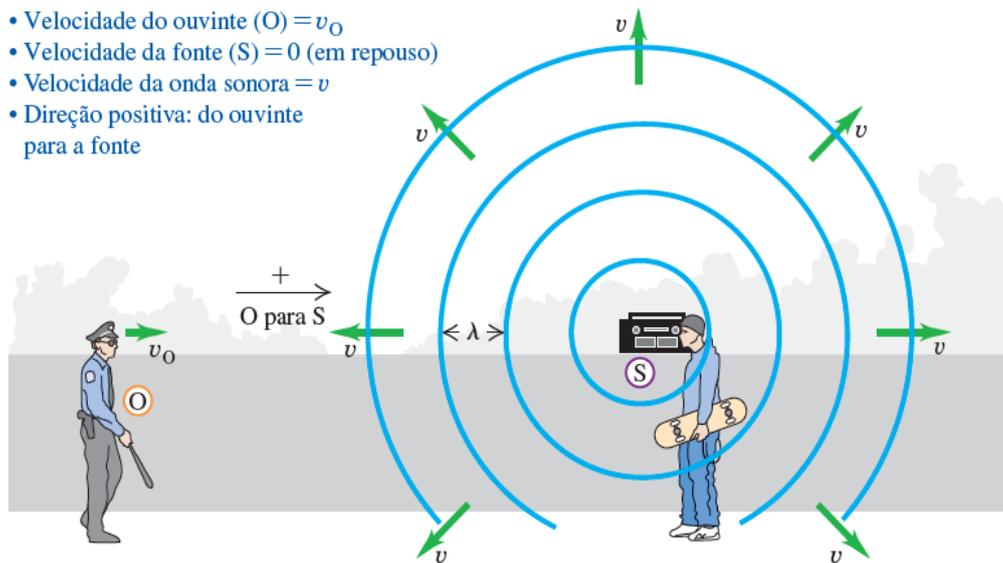
4.8.3 Efeito Doppler Sonoro

O efeito Doppler do som é um fenômeno que ocorre quando se tem uma fonte sonora em movimento em relação a um ouvinte. Quando isso acontece a frequência percebida pelo ouvinte é diferente da frequência do som emitido pela fonte (YOUNG E FREEDMAN, 2015). Para analisar a relação entre o desvio da frequência e as velocidades da fonte e do ouvinte em relação ao meio, pode-se simplificar o movimento em uma só direção, com sentido positivo do ouvinte O para a fonte sonora S. É possível ocorrer duas situações: (1) Ouvinte em movimento e fonte estacionária; (2) Fonte e ouvinte em movimento.

4.8.3.1 Ouvinte em movimento e fonte estacionária

Na situação da Figura 17, o ouvinte O se move com velocidade v_o no sentido de se aproximar da fonte sonora S, que está em repouso.

Figura 17 - Ouvinte em movimento e fonte estacionária



Fonte: Young e Freedman (2015)

A fonte emite uma onda sonora com frequência f_s , as cristas das ondas que se aproximam do ouvinte se movem com uma velocidade relativa de $v + v_o$. Portanto a frequência que chega ao ouvinte f_o é dada por

$$f_o = \frac{v + v_o}{\lambda} = \frac{v + v_o}{\frac{v}{f_s}}$$

Portanto,

$$f_o = \left(\frac{v \pm v_o}{v} \right) f_s$$

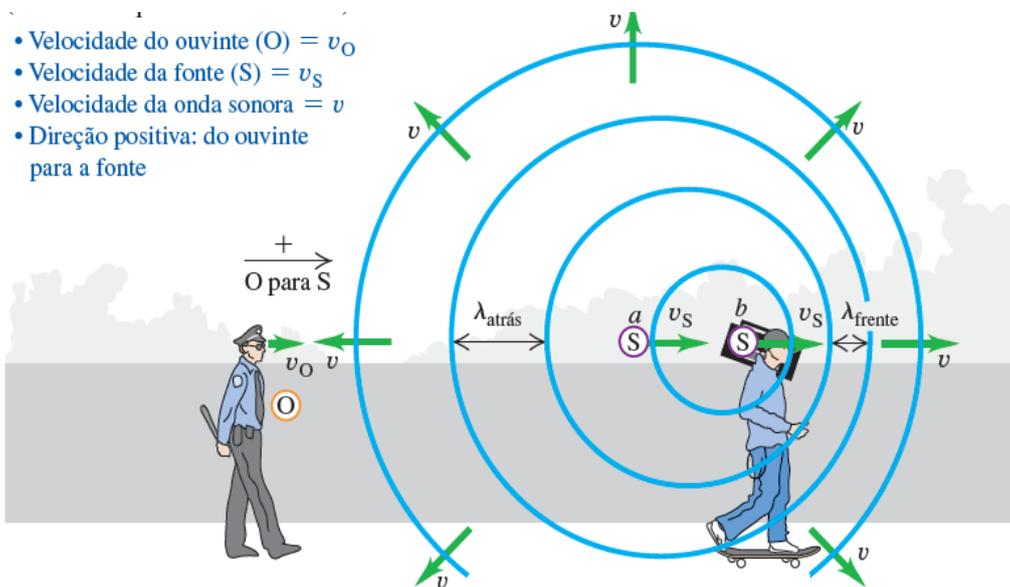
$$f_o = \left(1 \pm \frac{v_o}{v} \right) f_s \quad (4.39)$$

Quando o ouvinte se aproxima da fonte $v_o > 0$, ele ouve o som com uma frequência maior que a frequência ouvida quando ele está em repouso (mais agudo). Já quando o ouvinte se afasta da fonte $v_o < 0$, ele ouve uma frequência menor (mais grave).

4.8.3.1 Fonte e ouvinte em movimento

Agora, na situação da Figura 18, além do ouvinte, a fonte sonora também está em movimento, com velocidade v_s .

Figura 18 - Fonte e ouvinte em movimento



Fonte: Young e Freedman (2015)

A diferença é que o comprimento de onda não será mais $\frac{v}{f_s}$, pois irá depender do deslocamento entre a fonte e o ouvinte. Como pode ser observado na Figura acima, o comprimento de onda será diferente para um ouvinte que está na frente da fonte e para outro que está atrás da fonte, as cristas ficam comprimidas na frente da fonte (do lado

direito no desenho) e se dilatam atrás dela (do lado esquerdo no desenho) (YOUNG E FREEDMAN, 2015).

Na frente da fonte (à direita), o comprimento de onda é

$$\lambda_{frente} = \frac{v}{f_s} - \frac{v_s}{f_s} = \frac{v - v_s}{f_s} \quad (4.40)$$

Na região atrás da fonte (à esquerda), o comprimento de onda é

$$\lambda_{atrás} = \frac{v + v_s}{f_s} \quad (4.41)$$

Substituindo na equação 4.39, para encontrar a frequência percebida pelo ouvinte:

$$f_o = \frac{v + v_o}{\lambda_{atrás}} = \frac{v + v_o}{\frac{(v + v_s)}{f_s}} \quad (4.42)$$

Portanto,

$$f_o = \frac{v \pm v_o}{v \pm v_s} f_s \quad (4.43)$$

De acordo com Young e Freedman (2015), essa equação particular abrange todas as possibilidades do movimento da fonte e do ouvinte ao longo na reta que os une. Quando o ouvinte e a fonte estão em repouso ou quando se deslocam com a mesma velocidade em relação ao meio, então $v_o = v_s$ e $f_o = f_s$. Quando a velocidade da fonte ou do ouvinte ter sentido contrário ao sentido definido como positivo, $v_s < 0$ ou $v_o < 0$, respectivamente.

Portanto, se a fonte estiver se movendo na direção do ouvinte (no sentido negativo), então $v_s < 0$, $f_o > f_s$, e o ouvinte escuta uma frequência mais alta que a emitida pela fonte, um som mais agudo. E se a fonte estiver se afastando do ouvinte (deslocando-se no sentido positivo), então $v_s > 0$, $f_o < f_s$, e o ouvinte percebe uma frequência mais baixa, um som mais grave.

4.9 INSTRUMENTOS MUSICAIS

O som é gerado quando são produzidas vibrações em algum material, como por exemplo em cordas (violão, violino, piano), em membranas (tímpano, tambor), em blocos de madeira ou barras de aço (marimba, xilofone), em colunas de ar (flautas, oboé, saxofone e em muitos outros corpos (HALLIDAY, 2014, p. 162). Neste capítulo, serão abordados os conceitos envolvidos nos instrumentos de cordas e de tubos sonoros (colunas de ar).

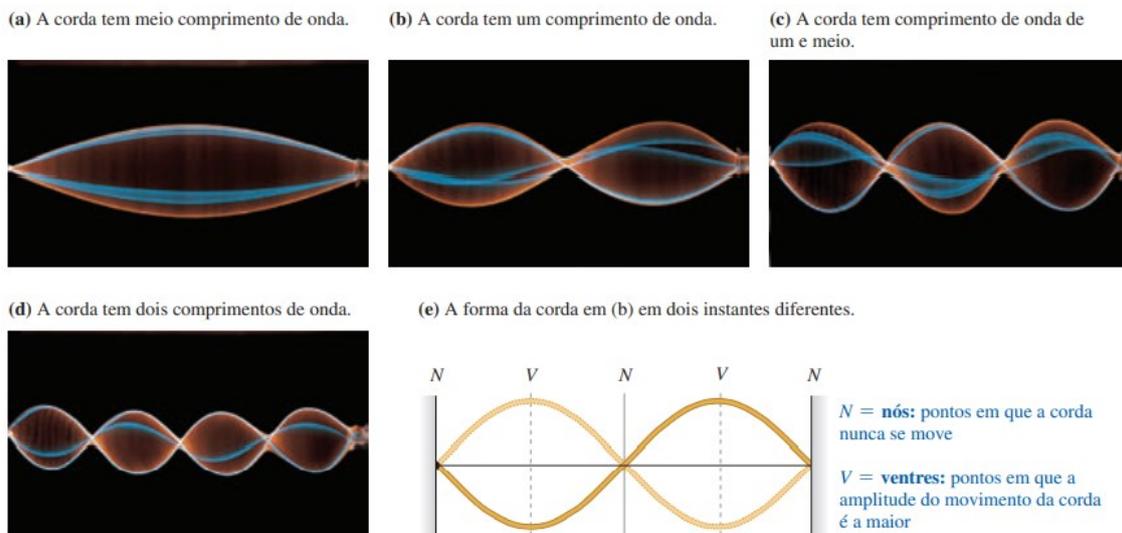
4.9.1 Instrumentos de cordas

Ao se produzir uma vibração em uma corda fixa de um instrumento, como o violão, por exemplo, são formadas ondas estacionárias que se propagam com velocidade dada por

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (4.13)$$

As ondas estacionárias são produzidas em cordas fixas nas duas extremidades porque as ondas que se propagam na corda são refletidas em cada extremidade e se superpõem. Para estudar esse fenômeno, pode-se considerar uma corda fixa em sua extremidade esquerda. Sua extremidade direita oscila de cima para baixo, produzindo uma onda que se propaga para a esquerda. Ao chegar na extremidade fixa, essa onda é refletida e se desloca para a direita com pulsos opostos.

Figura 19 – Ondas estacionárias



Fonte: Young e Freedman (2015)

Segundo Young e Freedman (2015), o movimento ondulatório resultante quando as duas ondas se combinam não se parece com duas ondas que se propagam em sentidos opostos, mas parece estar subdividida em diversos segmentos, como mostra as fotografias da Figura 19. A imagem 19e mostra duas formas instantâneas da corda, o padrão da onda permanece inalterado ao longo da corda e sua amplitude flutua.

“Existem pontos particulares, chamados de nós, que nunca se movem. No meio de dois nós consecutivos existe um ponto chamado ventre, no qual a amplitude

do movimento é máxima. Como o padrão da onda não parece se mover ao longo da corda, ela é chamada onda estacionária.” (YOUNG E FREEDMAN, 2015, p.135).

Considere agora uma corda de comprimento L , fixa em ambas as extremidades, assim como nos instrumentos musicais. Quando a corda é tocada, uma perturbação é produzida, gerando uma onda que se propaga na corda e se reflete sucessivamente nas duas extremidades, gerando uma onda estacionária que dá origem a uma onda sonora (YOUNG E FREEDMAN, 2015).

O comprimento da corda e a energia de vibração inicial determinam o comprimento de onda e a frequência da onda resultante. Observa-se que cada ventre, ou a distância entre dois nós adjacentes, é $\lambda/2$. Assim, o comprimento da corda deve ser igual a um número inteiro múltiplo de meio comprimento de onda, ou seja,

$$L = n \frac{\lambda}{2} (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.44)$$

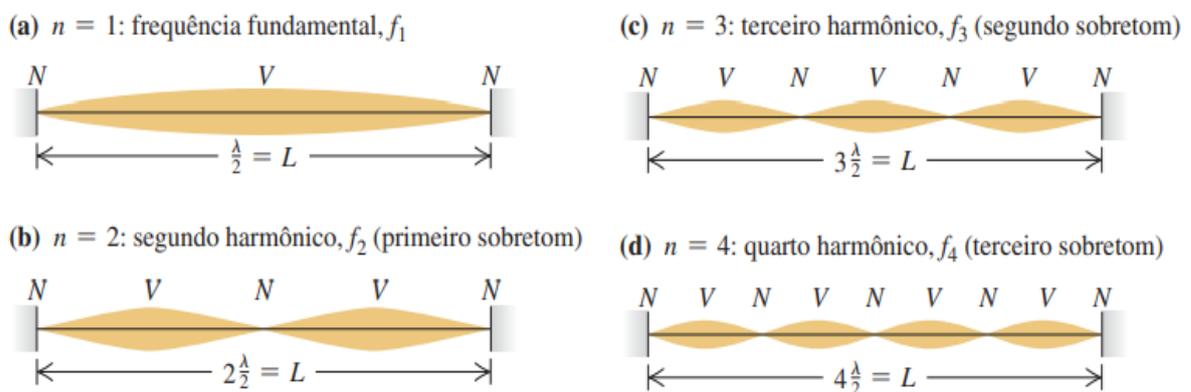
Ao isolar λ , é possível identificar os possíveis valores para o comprimento de onda,

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.45)$$

Correspondendo a uma série de valores possíveis de λ_n há uma série de frequências de onda estacionária f_n ,

$$f_n = n \frac{v}{2L} (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.46)$$

Figura 20 - Modos normais



Fonte: Young e Freedman (2015)

A onda estacionária de frequência mais baixa é chamada frequência fundamental, quando $n = 1$. Ela corresponde a uma onda estacionária com um único ventre, o primeiro harmônico, como pode ser visto na Figura 20.

As demais frequências são chamadas sobretons ou harmônicos superiores, pois são múltiplos inteiros da frequência fundamental. Assim, quando maior a ordem (n) dos harmônicos, maior a frequência da nota musical (mais aguda), o que, na música, chamamos de oitavas.

Se substituirmos v pela equação 4.13, temos:

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (4.47)$$

Essas são as formas mais simples de vibração de uma corda presa a duas extremidades e elas são chamadas de modos normais ou naturais de vibração. Entretanto, as cordas de um instrumento dificilmente realizam um único modo vibracional quando oscilam livremente. Normalmente o que ocorre é um movimento resultante da composição do modo fundamental com alguns harmônicos, o que caracteriza o timbre do instrumento.

Para tocar um instrumento, como o violão, por exemplo, as cordas são comprimidas com os dedos de modo a fazer variar o comprimento, produzindo as diferentes notas e acordes. Ao mudar de uma corda para a outra, varia-se a densidade linear μ . Quanto menor a densidade de uma corda, maior a frequência do som gerado. Por esse motivo, as cordas mais finas dos instrumentos são as mais agudas. Para afinar o instrumento, varia-se a tensão F girando as cravelhas ou tarraxas (roscas para essa finalidade), aumentando ou diminuindo a frequência até chegar na nota desejada.

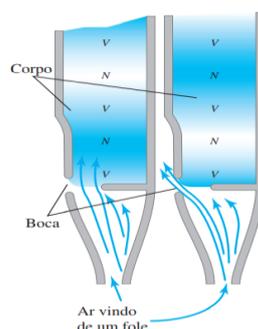
Em instrumentos de corda como o violão e o violino, há uma caixa de madeira onde o volume de ar ressoa e é amplificado. Quando se produz a vibração na corda, ela é transmitida à madeira e ao ar no interior da caixa. Por um processo de ressonância, são reforçados apenas os sons correspondentes às frequências naturais de vibração do sistema.

Numa orquestra, de forma geral, instrumentos de cordas mais curtas produzem sons mais agudos (altos) e instrumentos de cordas mais longas, sons mais graves (baixos).

4.9.2 Instrumentos de tubos sonoros

Em instrumentos de tubos, como flautas, saxofone, clarinete, órgão, entre outros, também são produzidas ondas estacionárias. A Figura 21 mostra a seção reta de um tubo de um órgão, onde pode-se observar as vibrações causadas pelo escoamento turbulento do ar, que produzem ondas estacionárias.

Figura 21 - Tubo de um órgão



Fonte: Young e Freedman (2015)

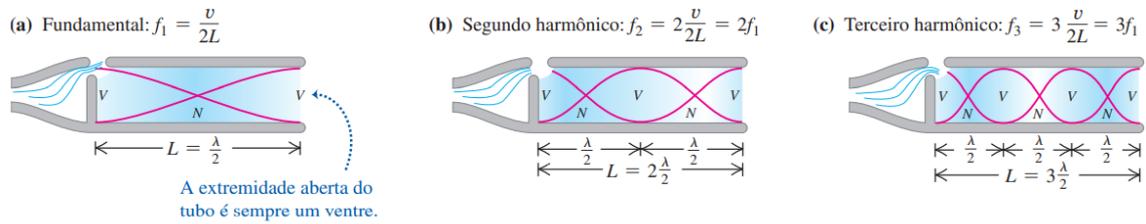
Ao fornecer ar a um instrumento de tubos, por exemplo soprando uma flauta, a coluna de ar no tubo começa a vibrar e ocorrem diversos modos normais possíveis, como no caso de uma corda esticada. A boca sempre funciona como uma extremidade aberta, logo, ela é um nó de pressão e um ventre de deslocamento. A outra extremidade do tubo pode estar fechada ou aberta (YOUNG E FREEDMAN, 2015).

4.9.2.1 Tubo aberto nas duas extremidades

Um exemplo é a flauta doce, quando se sopra o ar para dentro da flauta, produz-se uma onda que vai de uma extremidade à outra. Ao atingir a saída do tubo, a onda encontra um meio diferente, sofrendo reflexão e refração. A onda refletida interfere na onda incidente, formando uma onda estacionária (SILVA, 2020).

Como ambas as extremidades são abertas, em cada uma delas temos ventres. Seus harmônicos podem ser observados na Figura 22.

Figura 22 - Tubo sonoro com duas extremidades abertas



Fonte: Young e Freedman (2015)

Para qualquer modo normal de um tubo aberto de comprimento L , deve existir um múltiplo inteiro de meios comprimentos de onda. Os comprimentos de onda λ_n possíveis são dados por

$$L = n \frac{\lambda_n}{2} \rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.48)$$

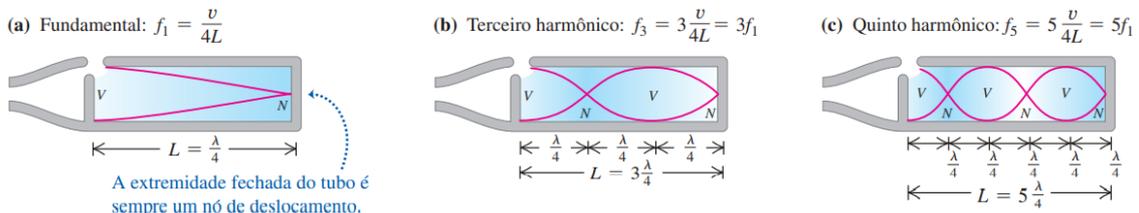
e as frequências correspondentes são dadas por,

$$f_n = n \frac{v}{2L} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.49)$$

4.9.2.2 Tubo fechado em uma extremidade

Um exemplo é a flauta Pã, apenas uma extremidade é aberta, assim o ar pode oscilar longitudinalmente com mais liberdade. Já a extremidade fechada impede a oscilação das moléculas de ar. Portanto, dentro do tubo são possíveis somente ondas estacionárias que terminem em um nó. Essas condições determinam uma quantidade menor de modos normais de vibração da coluna de ar, como podem ser observados na Figura 23.

Figura 23 - Tubo sonoro com uma extremidade fechada



Fonte: Young e Freedman (2015)

Para determinado tubo com uma extremidade fechada de comprimento L , teremos somente os harmônicos ímpares, com comprimentos de onda possíveis iguais a

$$L = n \frac{\lambda_n}{4} \rightarrow \lambda_n = \frac{4L}{n} (n = 1, 3, 5, \dots) \quad (4.50)$$

cujas frequências correspondentes são dadas por,

$$f_n = n \frac{v}{4L} (n = 1, 3, 5, \dots) \quad (4.51)$$

Assim como nos instrumentos de cordas, normalmente ao tocar um instrumento de tubo, diversos modos estão presentes simultaneamente, o que faz com que o movimento do ar seja uma superposição desses modos.

Tubos mais compridos emitem sons mais graves e tubos mais curtos emitem sons mais agudos. Além disso, existe um conjunto de botões (ou orifícios) nesses tubos que servem para modificar o tamanho da coluna de ar e assim alterar o comprimento da onda estacionária, gerando sons com diferentes frequências. Isso é semelhante ao que ocorre no violão, em que os dedos pressionam as cordas contra o braço do instrumento e modificam o comprimento da corda que vibra, produzindo sons de diferentes frequências.

5 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

5.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS)

As UEPS são seqüências de ensino, propostas por Marco Antonio Moreira e fundamentadas por teorias de alguns autores, como David Ausubel (1968) e o próprio M.A. Moreira (2005). Com objetivo de proporcionar uma aprendizagem significativa, as UEPS são baseadas em princípios, muitos já discutidos anteriormente e outros propostos pelos autores mencionados. Para construir uma UEPS, pode-se seguir alguns passos, aspectos sequenciais propostos por Moreira (2012):

1. definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. criar/propor situação(ções) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
3. propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; [...]
4. uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; [...]
5. em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; [...]
6. concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; [...]
7. a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; [...]

8. a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). [...] (Moreira, 20122, p.48)

Tomando esses aspectos como base, construiu-se uma sequência didática para trabalhar os conceitos de acústica. A mesma será detalhada a seguir.

5.2 1º MOMENTO – ONDAS

Com o objetivo de verificar as ideias prévias dos estudantes sobre o conteúdo de ondulatória, será solicitada a construção de um diagrama (que pode ser um mapa conceitual) sobre ondas. Nele, o aluno poderá se expressar livremente, destacando as palavras que surgem em sua mente, associadas ao tema. Posteriormente, será construído um mapa conceitual em conjunto, em que os alunos poderão discutir suas concepções iniciais sobre o tema proposto.

Para problematizar o conceito de onda, sua natureza (mecânica e eletromagnética) e sua forma de propagação (longitudinal, transversal e mista), a turma será dividida em grupos, cada grupo receberá uma mola slinky para a realização de uma atividade prática. Com essa atividade, os alunos irão simular formas de propagação de pulsos na mola e refletir sobre as características do movimento. Após a atividade, será feita uma discussão com a turma a respeito dos resultados do experimento e das observações feitas pelos alunos, procurando problematizar os conceitos e contextualizar com o cotidiano.

Em seguida, será feita uma aula expositiva dialogada, utilizando slides com imagens, vídeos e animações, proporcionando uma melhor visualização dos conceitos. Serão explicadas a natureza de ondas, formas de propagação e as características de uma onda periódica (amplitude, comprimento de onda, período, frequência e velocidade de propagação) e será feito um exemplo de aplicação. Posteriormente, será realizada uma atividade com uma simulação computacional (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string).

Considerando o princípio programático da diferenciação progressiva, os conceitos trabalhados serão retomados por meio da correção e discussão das atividades feitas anteriormente. Por fim, novamente em grupos, será solicitada aos alunos a resolução de alguns problemas práticos contextualizados e questões teóricas, com posterior discussão e correção.

5.3 2º MOMENTO – ONDAS SONORAS

Para verificar as ideias prévias dos alunos a respeito do som, será feito um questionário, por meio de um instrumento tecnológico chamado *Plickers* (<https://get.plickers.com/>), uma ferramenta que permite elaborar questões de múltipla escolha, imprimir placas com um código para as alternativas e escanear as respostas, obtendo o desempenho dos alunos automaticamente. Em seguida, será feita uma socialização e discussão das respostas.

Para problematizar o conceito de ondas sonoras e sua propagação, os alunos em grupos farão o experimento “telefone com fio”. Após essa atividade, os resultados serão discutidos e, após algumas investigações, os alunos deverão “descobrir” que tipo de onda o som é e como ele saiu das cordas vocais e chegou no ouvido do colega.

Será explicado o conceito de onda sonora, como o som se propaga e qual sua velocidade em diferentes meios de propagação. Em seguida, os alunos em grupos deverão responder e, se necessário, pesquisar as seguintes questões: 1. Por que, quando em uma tempestade de raios, vemos primeiro o relâmpago (luz) para depois ouvir o trovão (som)? 2. Por que nossa voz fica diferente quando respiramos gás hélio? 3. O que é barreira do som? O que significa dizer que um avião rompeu a barreira de som? 4. Como ouvimos? Como funcionam nossos ouvidos? Essas questões serão corrigidas e discutidas.

5.4 3º MOMENTO – QUALIDADES DO SOM

Neste momento, será levado um violão para a sala de aula e será tocado em cada uma de suas cordas soltas, iniciando a problematização: Qual a diferença entre esses sons? A que se deve essa diferença?

A partir do diálogo com os alunos, será introduzido o conceito de altura sonora. Por meio de uma caixa de som e um aplicativo para smartphone que emita diferentes frequências (como o “*Gerador de frequência*”) serão discutidas as frequências que compõem o espectro sonoro, incluindo o infrassom e o ultrassom. Como atividade para casa, os alunos farão uma pesquisa sobre as aplicações dessas frequências no dia a dia e os resultados dessa pesquisa serão apresentados e comentados. Em um momento seguinte, alguns elementos da música serão relacionados com o conceito de altura, como as notas musicais, intervalo acústico, escalas e tons.

Para abordar a intensidade sonora, a aula irá iniciar com algumas problematizações: Em qual volume você utiliza o fone de ouvido? Será que volumes “altos” prejudicam a audição? Se um som alto é um som agudo, que característica da onda determina o volume? Partindo de uma discussão das respostas e comentários dos alunos, os conceitos de intensidade e nível sonoro serão introduzidos. Neste momento, os conceitos terão mais ênfase do que os cálculos, que poderão ser explorados por alunos com interesse.

Como última qualidade, o conceito timbre será introduzido por meio de uma demonstração: Emitindo a mesma nota de um violino e uma flauta transversal, os alunos, de olhos fechados, deverão descobrir qual instrumento está sendo tocado. Como questionamento: Por que conseguimos diferenciar a mesma nota musical em dois instrumentos diferentes? Com base nas observações e comentários dos alunos, haverá uma explicação desta qualidade sonora.

5.5 4º MOMENTO – FENÔMENOS SONOROS

Por meio de uma apresentação de slides, serão mostradas aos alunos algumas fotos, questionando a relação entre elas: um aparelho de diagnóstico por ultrassom, um morcego, um submarino, uma grande igreja. A partir de alguns comentários e discussões, o fenômeno da reflexão sonora será abordado e, por meio de vídeos, imagens e animações, haverá uma contextualização com o cotidiano dos alunos e, em seguida, a resolução de alguns exemplos e exercícios de aplicação.

Em seguida, será exibido um vídeo de uma ambulância para que os alunos percebam a diferença no som à medida que ela se distancia, para que o fenômeno do efeito doppler seja introduzido, comentado e exemplificado por outros exemplos e aplicações tecnológicas.

Para a problematização do fenômeno de ressonância sonora, será questionado aos alunos: Como quebrar uma taça de cristal com a voz? Após um breve diálogo e visualização de um vídeo, ocorrerá uma explicação do fenômeno, contextualização com o cotidiano e demonstração experimental: utilizando dois diapasões com caixa, por que ao vibrar um diapasão o outro também começa a emitir som?” Posteriormente, as respostas serão discutidas no grande grupo.

5.6 5º MOMENTO – INSTRUMENTOS MUSICAIS

Com o propósito de trabalhar ondas sonoras em cordas, será feita uma atividade com um instrumento de cordas, em que serão utilizados violões. A turma será dividida em grupos, cada grupo receberá um violão com todas as cordas e um roteiro experimental. O objetivo será verificar a relação entre espessura e som das diferentes cordas, ao afinar o instrumento, compreender a variação da frequência ao variar o comprimento das cordas e compreender essa variação de comprimento ao apertar as casas do instrumento.

As ondas em instrumentos de tubos sonoros serão abordadas por meio de outra atividade prática. Ainda divididos em grupos, os alunos deverão construir flautas do tipo pã com canos de pvc de 20mm de diâmetro. Para facilitar, todos os canos estarão cortados e distribuídos em uma mesa (pode ser necessário lixar para afinação), sabendo das notas musicais de uma escala natural e utilizando afinador, os grupos escolherão quais canos usar e farão a montagem do instrumento de forma criativa. O objetivo será compreender a relação entre o som das notas e o comprimento dos tubos.

Em todo o momento durante as atividades experimentais haverá uma mediação por parte do professor e, ao finalizar, os resultados serão discutidos e explicados de forma expositiva por meio de slides e demonstrados experimentalmente. Serão abordados os conteúdos de: ondas estacionárias, ondas em cordas (fórmula de Taylor), modos de vibração em cordas e tubos.

5.7 6º MOMENTO – AVALIAÇÃO

A avaliação da aprendizagem dos alunos será feita no decorrer da aplicação da sequência didática, por meio das atividades práticas, listas de exercícios e registro de tudo que evidencie uma aprendizagem significativa. Além disso, será feita uma avaliação individual e sem consulta, com questões discursivas teóricas e numéricas, que demonstrem a captação de significados e compreensão dos conceitos.

Também será feita uma avaliação das aulas, na qual o aluno poderá demonstrar suas opiniões, críticas e comentários sobre suas experiências, seu aprendizado e sua motivação durante as aulas.

6 APLICAÇÃO DO PRODUTO

6.1 CONTEXTO DE APLICAÇÃO

A sequência didática desenvolvida neste trabalho foi aplicada em turmas de segundo ano do Ensino Médio da rede pública estadual do estado de Santa Catarina, na Escola de Ensino Médio Engenheiro Annes Gualberto.

Localizada na área central do município de Imbituba, a escola conta com uma média de 545 alunos de 1º a 3º ano do Ensino Médio de diversos bairros da cidade. São 18 turmas, sendo 9 de Ensino Médio Regular, 6 de Ensino Médio Integrado à Educação Profissional e 3 de Novo Ensino Médio. As turmas possuem em média 35 alunos com faixa etária de 15 a 18 anos.

A referida escola possui uma boa estrutura física, Além dos ambientes tradicionais, há laboratórios de Informática, Biologia, Matemática, Química e Física e um amplo auditório. O laboratório de Física será de grande utilidade na proposta, pois a organização da sala e os equipamentos tornarão as aulas mais dinâmicas, melhorando a aprendizagem. As aulas de Física ocorrem em dois períodos de 45 minutos na semana.

6.2 PROJETO PILOTO 2019

No ano de 2019, foi realizada uma aplicação preliminar em algumas turmas da mesma escola, como teste, ao longo do planejamento das aulas de ondas e acústica. As principais atividades desenvolvidas e analisadas naquele momento foram as de ondas nos instrumentos musicais, de cordas e tubos.

Na primeira atividade, os alunos foram organizados em grupos e receberam um violão e um roteiro experimental, semelhante ao proposto neste trabalho. De modo geral, alguns alunos tiveram dificuldades para manusear o instrumento e algumas cordas foram partidas, o que mostra a necessidade de uma breve explicação sobre a afinação e manipulação do violão. Houve um bom desenvolvimento nas respostas dos questionamentos do roteiro, sem maiores dificuldades, sempre envolvendo a mediação do professor.

A atividade para trabalhar as ondas em instrumentos de tubos foi realizada de maneira diferente. Os alunos foram divididos em grupos e cada grupo deveria construir um instrumento musical distinto, utilizando os materiais disponíveis no laboratório e um roteiro com questionamentos. Os instrumentos foram: flauta pã, flauta de êmbolo, flauta

transversal, utilizando canos de pvc e mangueiras, e xilofone com garrafas de vidro e água. Em alguns instrumentos, os alunos tiveram muitas dificuldades por não conseguir emitir as notas e, conseqüentemente, afinar os instrumentos. Por esse motivo, decidiu-se por utilizar somente um instrumento, que fosse mais fácil para tocar, a flauta pã.

6.3 ADAPTAÇÃO AO ENSINO NÃO PRESENCIAL

No ano de 2020, o mundo enfrentou uma situação muito delicada, uma pandemia que obrigou os professores, dentre tantas coisas, a repensar suas metodologias, em virtude do regime especial de ensino não presencial. Este trabalho foi elaborado em meio a esses acontecimentos, na esperança de um retorno ao ensino presencial, que não ocorreu até o segundo semestre de 2021. Por esse motivo, a maioria das atividades originais precisaram ser adaptadas. Isso foi feito utilizando principalmente o “Google Formulários”. Essa ferramenta permite a elaboração de questionários interativos, em que podem ser inseridas imagens, vídeos, textos explicativos e diferentes tipos de questões. No próximo capítulo deste trabalho, será detalhado como essa adaptação foi realizada e como a aplicação do projeto se desenvolveu.

Quadro 5 – Resumo da aplicação

Data	Conteúdo	Descrição	Metodologia	Atividade
ONDULATÓRIA				
13/05	Ondas	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação da proposta • TCLE 	<ul style="list-style-type: none"> • Publicação no GSA 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 1: Mapa mental • Mentimeter • TCLE
20/05	Ondas	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão do mapa mental • Explicação: conceito, natureza, formas de propagação e ondas periódicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mentimeter • Google Meet • Slides 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 2: revisão e atividade experimental
27/05	Ondulatória	<ul style="list-style-type: none"> • Exercícios do conteúdo de ondulatória • Aula de dúvidas • Problemática (som) 	<ul style="list-style-type: none"> • Publicação no GSA • Atendimento individual assíncrono • Aula de dúvidas no Google Meet 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 3: Lista de exercícios 1 • Atividade 4: Questionário (Kahoot)

ACÚSTICA				
10/06	Som	<ul style="list-style-type: none"> • Explicação • Vídeos • Atividade • Pesquisa 	<ul style="list-style-type: none"> • Formulário Google 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 5: Explicação e Telefone com fio
17/06	Qualidades do som	<ul style="list-style-type: none"> • Explicação qualidades do som 	<ul style="list-style-type: none"> • Formulário Google • Google Meet 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 6 e 7 (altura e timbre): Explicação e pesquisa
24/06	Intensidade e Nível sonoro	<ul style="list-style-type: none"> • Explicação • Atividade prática: nível sonoro • Pesquisa: poluição sonora 	<ul style="list-style-type: none"> • Formulário Google 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 8: explicação, nível de ruído e poluição sonora
01/07	Reflexão Sonora	<ul style="list-style-type: none"> • Problematização • Explicação • Exemplos • Exercícios 	<ul style="list-style-type: none"> • Formulário Google • Google Meet • Atendimento individual assíncrono 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 9: reflexão e exercícios • Atividade 10: Lista de exercícios 2
08/07	Ressonância e Efeito Doppler	<ul style="list-style-type: none"> • Explicação • Exemplos • Atividade com demonstração experimental 	<ul style="list-style-type: none"> • Formulário Google 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 11: ressonância e efeito doppler
15/07	Acústica	<ul style="list-style-type: none"> • Dúvidas • Retorno das avaliações • Recuperação paralela individual 	<ul style="list-style-type: none"> • Atendimento individual assíncrono 	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperações paralelas
RECESSO ESCOLAR 22/07 a 01/08				
RETORNO AO ENSINO PRESENCIAL				
03 e 10/08	Revisão dos conteúdos	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão • Recuperação paralela 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada 	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperações paralelas
17/08	Instrumentos musicais	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade prática sobre instrumentos musicais de tubos 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade prática • Mediação 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 12: Construção de flautas pã
24/08	Instrumentos musicais	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade prática sobre instrumentos musicais de cordas • Apresentação do conteúdo 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade prática • Mediação • Apresentação expositiva dialogada 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade 13: prática utilizando violões

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

6.4 APLICAÇÃO DA UEPS ADAPTADA

A UEPS foi aplicada em uma turma de segundo ano do Ensino Médio Integrado à Educação Profissional, do curso de Informática da E.E.M. Eng, Annes Gualberto. O início da aplicação ocorreu no mês de maio de 2021 e, neste período, a escola atuava no regime especial de ensino não-presencial, utilizando a plataforma Google Sala de Aula (GSA), com atividades postadas semanalmente. A maioria dessas atividades foram elaboradas utilizando o Google Formulários e, além disso, houve algumas aulas síncronas, utilizando a plataforma Google Meet.

Neste momento, a turma contava com um total de 26 alunos, sendo que apenas 15 estavam matriculados para serem atendidos no ensino remoto via GSA. Os demais alunos não participaram da aplicação e receberiam atividades impressas, por não terem acesso à internet.

O primeiro semestre letivo da unidade escolar terminou no dia 21 de julho, seguido do recesso escolar. A escola retornou ao ensino presencial (opcional) no início do segundo semestre letivo de 2021 e faltavam as duas últimas atividades e a avaliação para serem aplicadas.

A Secretaria de Educação de Santa Catarina criou uma escola polo para atender os alunos que permaneceram no ensino remoto, com outros conteúdos e professores. Por ser opcional, apenas 14 alunos voltaram a participar das aulas presencialmente e, desses alunos, somente 8 recebiam as atividades do GSA no primeiro semestre. Além disso, durante essas últimas atividades, houveram algumas transferências de alunos da escola polo para o presencial.

A aplicação foi finalizada de forma presencial, no dia 14 de setembro. Nas seções seguintes, os resultados de cada momento proposto serão discutidos, bem como a forma com que a adaptação ao remoto foi realizada.

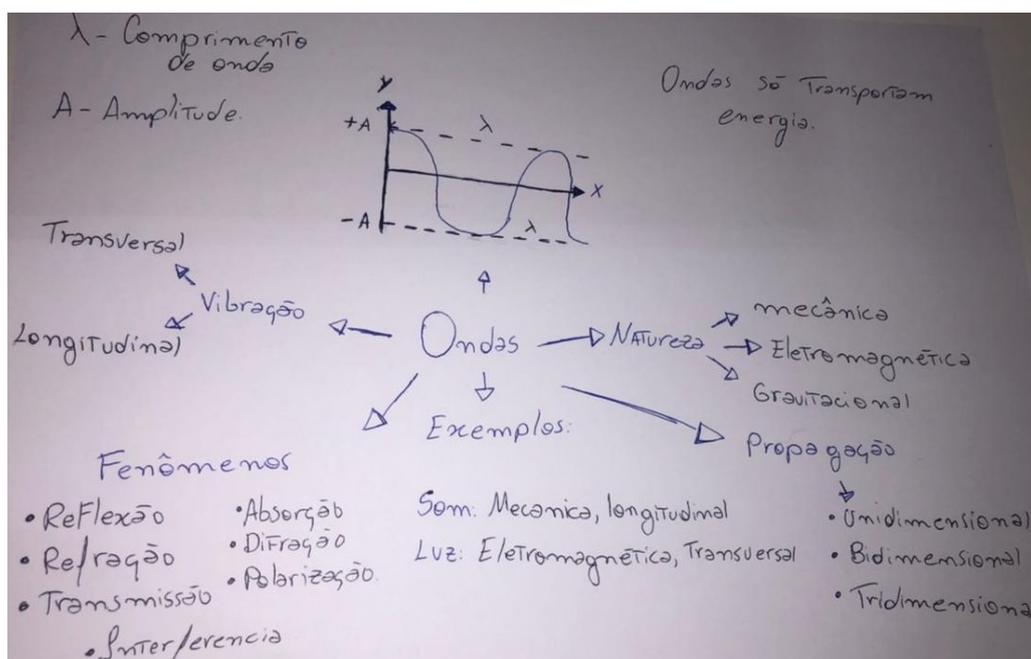
6.4.1 1º Momento - Ondas

Neste primeiro momento, foi enviado aos alunos um vídeo explicativo do projeto e do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (anexo A). Também foi solicitada aos alunos a construção do mapa mental, com suas ideias iniciais sobre ondas. Além disso, foi solicitado que escolhessem três palavras do seu diagrama para inserir no mapa mental da turma em conjunto, que foi gerado pela ferramenta “mentimeter” (disponível em

<https://www.mentimeter.com/>). Posteriormente, de forma síncrona, o mapa gerado pelo “mentimeter” foi discutido com a turma, e então, os conceitos iniciais de ondulatória foram explicados de forma dialogada como planejado para a aplicação presencial.

Como já mencionado, o objetivo do mapa mental inicial era de que o aluno externalizasse seu conhecimento prévio, e que expressasse livremente suas primeiras ideias do conceito de onda. Esse propósito da atividade se tornou difícil de ser analisado, devido ao fato de que a atividade foi feita de forma remota, não sendo possível confirmar se os alunos de fato demonstraram suas concepções prévias sem a interferência externa, ou seja, sem pesquisar o conteúdo antes. A maioria dos diagramas elaborados pelos alunos indicaram o contato com o conteúdo propositalmente para concluir a atividade, como pode ser observado na Figura 24.

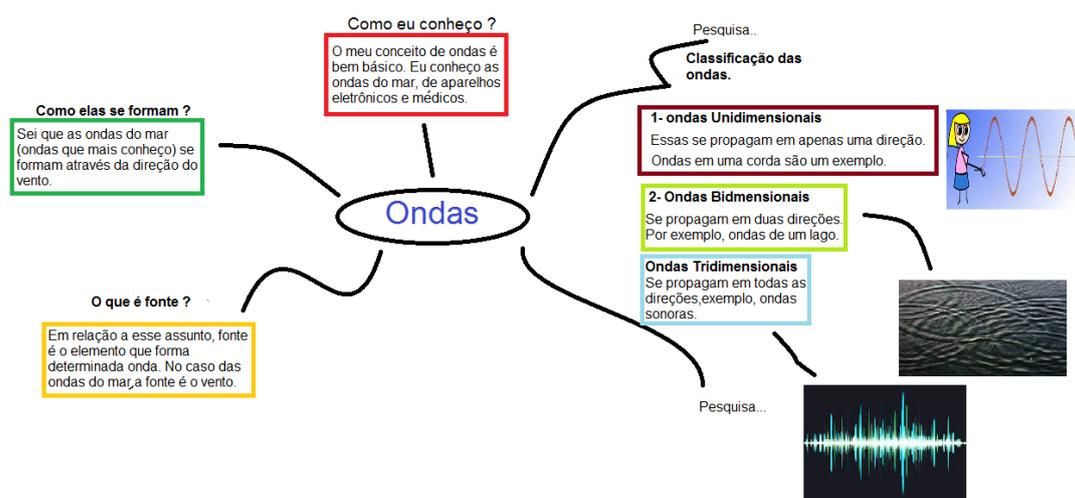
Figura 24 - Mapa mental I



Fonte: Elaborado por um aluno da turma (2021)

Apenas um aluno deixou claro seu conhecimento inicial e o conteúdo pesquisado (Figura 25) e, de acordo com ele, seu conhecimento sobre ondas é básico: “[...]conheço as ondas do mar, de aparelhos eletrônicos e médicos”. Desse modo, pode-se perceber a importância do ensino presencial para observar as ideias prévias dos alunos sobre um determinado assunto. Atividades desse tipo requerem uma certa autonomia, um protagonismo que nem todos os alunos demonstram possuir.

Figura 25 - Mapa mental II



Fonte: Elaborado por um aluno da turma (2021)

A atividade de propagação das ondas, que iria fazer a preparação para a introdução do conteúdo, foi adaptada para ser feita uma breve demonstração. Assim, optou-se por abordar o conteúdo de forma bastante dialogada em aula síncrona, com base nas ideias prévias demonstradas pelos alunos.

Quatro alunos participaram desta aula síncrona, onde foi explicado o objetivo do mapa mental e oferecido alguns minutos para que os alunos online pudessem acrescentar palavras no mapa gerado pelo “mentimeter”, que pode ser observado na Figura 26. O mapa foi formado com palavras inseridas por 7 alunos, a maioria das palavras estão relacionadas com o conceito de ondas. Elas foram discutidas em aula, servindo como base para a introdução do conteúdo.

Figura 26 - Mapa mental da turma



Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Este mapa mental virtual foi mais produtivo do que o mapa assíncrono solicitado anteriormente, pois, se ele for feito de forma síncrona com a aula, em alguns minutos os alunos podem escrever as primeiras palavras que veem em sua mente, o que poderia solucionar o problema das pesquisas realizadas para sua elaboração.

Na sequência, foi explicado o conceito de onda, sua natureza e forma de propagação. A explicação foi feita por diálogos, ou seja, foram feitos diversos questionamentos e, através das respostas dos alunos presentes, foi explicado cada conceito. Foram mostrados exemplos do cotidiano, com imagens, vídeos e gifs para ilustração. Também foram explicadas as características da onda periódica (cristas, vales, amplitude, comprimento de onda, período, frequência e velocidade de propagação) e foi feito um exemplo de aplicação, demonstrando os cálculos envolvidos no estudo dessas grandezas.

Devido às diversas fraquezas do ensino remoto, foi elaborada no “Google Formulários” uma aula para cada parte do conteúdo, para que todos os alunos, participando ou não da aula síncrona, tivessem contato com a explicação. Algumas dessas aulas eram acompanhadas de exercícios, questões para pesquisa, atividades práticas e/ou atividades utilizando simulação computacional, que foi o caso da atividade postada neste momento.

Este formulário (<https://forms.gle/T5nGrsJwhqC2mGSC9>) de ondulatória continha a revisão da aula e o mesmo roteiro experimental com simulação elaborado para o ensino presencial. Após os alunos explorarem a simulação, foi solicitada a alteração de algumas variáveis do simulador para a realização da atividade. São questionadas algumas características na onda gerada pelo programa, como a quantidade de cristas e vales e o comprimento de onda, para então fazer o cálculo da velocidade de propagação. Em seguida, foi solicitada a alteração da frequência da fonte e são feitos os mesmos passos anteriores. Por fim, os alunos deveriam comparar os resultados e investigar a interferência do amortecimento.

Esta atividade teve 13 respostas. De modo geral, os alunos conseguiram identificar as características da onda informadas pelo simulador, mas alguns tiveram dificuldade para realizar o cálculo da velocidade. Na questão 5 (*Altere a frequência para 3,00Hz, você observou alguma mudança? Se sim, qual? Explique o porquê.*) os alunos responderam conforme mostra a Figura 27. Algumas expressões, como “mais cristas e vales”, “mais ondas”, “mais finas”, sugerem a compreensão da definição de frequência.

Figura 27 - Questão 5

5. Altere a frequência para 3,00 Hz. você observou alguma mudança? Se sim, Qual? Explique porquê.

13 respostas

Sim, está mais rápido, e existem mais cristas e vales no mesmo espaço, acredito que quanto maior a frequência mais energia está sendo gasta, como com a corda, será necessário mais esforço para fazer ela ficar mais ondulada.

Sim, a corda está indo mais alto e rápido (parece). Acredito que a frequência alterou de a velocidade de propagação da corda.

Sim, formou mais ondas.

sim, a frequência ficou mais rápida.

Sim, cria mais ondas e ganha mais velocidade.

a onda ficou mais rapida

Sim, a alta quantidade de ondas em um pequeno intervalo de tempo.

Sim, as ondas estão feitas mais rápidas e mais "finas", porque a frequência está mais

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na questão 10 (*Altere o amortecimento para elevado. O que aconteceu? Explique*), os alunos demonstraram compreender a consequência do amortecimento para as grandezas estudadas, como pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 - Questão 10

10. Altere o amortecimento para elevado. O que aconteceu? Explique.

13 respostas

A onda está mais fraca, ela necessita de mais força para poder exercer uma perturbação mais influente, é como se a onda fosse mais rígida.

A propagação da onda diminui no final, mas começa rápida.

As ondas diminuíram.

As ondas não se prolongaram muito, e ficou mais rápido a velocidade,

Fica mais lento e pesado.

nao tem mais onda

Na ponta uma grande quantidade de força, mas com o amortecimento, essa força não conseguiu continuar, acontecendo a tranquilidade da força

Após alterar o amortecimento para elevado, as mesmo a frequência estando alta, as ondas diminuíram drasticamente tanto a crista quanto o vale, pois é como se a corda

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Por fim, foi aberto um campo para a inserção de comentários opcionais (Figura 29), nele pode-se observar 6 feedbacks de alunos em relação à aula: 5 foram positivos e 1 continha uma pergunta relacionada ao cotidiano, que reflete ainda mais a motivação do aluno e a sua reflexão sobre a relação do conteúdo estudado com o seu contexto.

Figura 29 – Comentários

Comentários =)
7 respostas

Uma pergunta que tem um pouco a ver com o assunto mas é meio off-topic, professora, aqueles aparelhos dos batimentos cardíacos que costumam aparecer em filmes, desenhos, etc. mostram no seu painel uma onda?

Gostei bastante da sua aula. :)

foi uma boa aula, apenas não consegui fazer aquelas duas atividades que citei. :(

Amei! Gosto muito deste estilo de aprendizagem =)

Gostei muito da atividade :-)

Gostei da atividade professora, foi bastante informativo, obrigado.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na semana seguinte, foi postada a lista de exercícios (anexo B) e foi oferecido atendimento de forma assíncrona, além de duas aulas síncronas para tirar dúvidas, nas quais nenhum aluno compareceu.

6.4.2 2º Momento - Ondas Sonoras

O instrumento para o levantamento das ideias prévias dos alunos a respeito do som foi alterado, para que seja possível a aplicação de forma assíncrona. Foi elaborado um questionário utilizando o “Kahoot” (<https://create.kahoot.it/share/acustica/49c2ab98-586a-467c-b7a9-624c9dbc631d>), uma ferramenta que possibilita a criação de jogos, como “quiz”.

Na Figura 30, pode-se observar a porcentagem de acertos em cada questão. A questão com mais acertos foi a de verdadeiro ou falso que afirma “*É possível quebrar uma taça de cristal com a voz, mas o som emitido deve ter uma frequência específica*”, que pode ser justificado por ser uma questão bastante presente no dia a dia dos alunos.

Muitos já viram um exemplo dessa situação acontecer, muitas vezes até mesmo em programas de televisão.

Figura 30 – Questionário inicial

Question	Type	Correct/incorrect
1 Sobre o som, é correto afirmar:	Quiz	33%
2 Porque, em tempestade de raios, vemos primeiro o relâmpago (luz) para depois ouvir o trovão (so...	Quiz	67%
3 Um violinista afrouxa uma das cordas de seu instrumento, para afinar, vibrando a corda, o novo so...	Quiz	67%
4 Sobre a altura do som, é correto afirmar:	Quiz	8%
5 Um rádio está no volume máximo. Dizer que "o som está alto" é correto, pois som alto significa so...	True or false	0%
6 Quanto maior a amplitude de uma onda sonora, mais alto o som será	True or false	8%
7 Sons muito intensos não prejudicam nossa saúde.	True or false	50%
8 Podemos diferenciar uma nota Mi e uma nota Sol de um piano pelas suas alturas	True or false	67%
9 Sons muito altos podem doer os ouvidos de uma pessoa com a saúde normal	True or false	25%
10 Sobre o ECO, assinale o que for correto:	Quiz	8%
11 O som tem diversas aplicações tecnológicas como os sonares e os aparelhos de ultrassom.	True or false	58%
12 É possível quebrar uma taça de cristal com a voz, mas o som emitido deve ter uma frequência esp...	True or false	75%
13 A notas musicais (dó, ré, mi, fá, sol, lá, si) são ondas sonoras de mesma frequência, mas com inten...	True or false	17%

Fonte: Elaborada pela autora (Kahoot.com) (2021)

A questão 5 teve menos acertos, o qual a afirmativa “*Um rádio está no volume máximo. Dizer que "o som está alto" é correto, pois som alto significa som de grande intensidade*” foi julgada verdadeira em todos os casos. O fato de muitos alunos relacionarem a altura sonora com o volume do som também pode ser justificado pela grande presença da situação no cotidiano, pois essa relação entre altura e volume é uma ideia muito marcante do senso comum.

A próxima atividade, do “telefone com fio”, teve o objetivo de propor uma situação problema de nível introdutório para preparar o terreno para a introdução do conhecimento de acústica (MOREIRA, 2012). Esse experimento de problematização também foi realizado de forma assíncrona. Foi solicitado aos alunos a construção do experimento para a atividade. O roteiro experimental foi feito por meio do “Google Formulários”, seguido da explicação do conteúdo com textos e vídeos e a solicitação da pesquisa (<https://forms.gle/VELKRJ5khDQx665n9>).

Esse formulário teve 5 participações. No primeiro questionamento do roteiro, os alunos deveriam pedir a ajuda de algum familiar para colocar um dos copos no ouvido, enquanto o barbante é esticado para se falar no outro copo. Então deveriam ser descritas as observações, as respostas podem ser visualizadas na Figura 31.

Figura 31 – Questão 1

1. Peça para alguém da sua família colocar um dos copos no ouvido, estique o barbante e fale no outro copo. O que você observou?

5 respostas

O som se propagou pelo fio, fazendo com que a pessoa do outro lado conseguisse ouvir o que foi dito.

que o som se propaga pelo fio e chega e conseguimos ouvir o que foi dito

Que mesmo de longe, eu consegui ouvir a voz dele saindo do telefone.

Pude escutar pelo meu copo o que a minha mãe falou

o som se propagou pelo barbante

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Nas questões 2 e 3, os alunos deveriam investigar o experimento ao interromper a passagem da onda, conclusão que a maioria deles conseguiu alcançar, como pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – Questões 2 e 3

2. Tente fazer o mesmo, mas sem esticar o barbante. O que você observou? Explique com suas palavras porque isso aconteceu.

5 respostas

Não foi possível ouvir nada, acredito que seja porque o som se propaga melhor com o barbante esticado, quando o barbante não está esticado o som acaba perdendo intensidade e ficando mais fraco.

que o som não se propaga pelo fio e chega e não conseguimos ouvir o que foi dito

Não funciona, porque as ondas não conseguem passar.

O som saiu estranho, tive dificuldade em entender o que minha mãe falou

a vibração foi menor

3. Tente fazer o mesmo procedimento (1), mas coloque o dedo no barbante (segurando-o). O que você observou? Explique com suas palavras porque isso aconteceu.

5 respostas

Também não foi possível ouvir o som, ao colocar o dedo é como se o caminho do som acabasse ali, como se tivesse uma parede obstruindo seu caminho.

facilitou ouvir o som se propaga pelo fio e chega e conseguimos ouvir o que foi dito

Não funcionou também, porque não deixei as ondas da minha voz se propagar pelo fio.

Minha mãe não escutou/entendeu o que eu falei

nao teve som

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Nas seguintes questões (4 e 5), os alunos deveriam tentar explicar como o som é formado e como ele se propaga no decorrer do experimento, respectivamente. Todos os alunos demonstraram compreender a explicação da experiência, pois deram respostas como “quando as cordas vocais vibram, é produzido um som, esse som faz o copo vibrar, essas vibrações são o som que foi produzido, elas passam para o barbante, e conseqüentemente chegam no outro copo e, por fim, essas vibrações são captadas pelo ouvido da outra pessoa”.

Por fim, o formulário trazia algumas questões relacionadas com o cotidiano para serem pesquisadas e, um campo para inserção de comentários opcionais. Esses comentários podem ser observados na Figura 33 e mostram o retorno positivo dos estudantes e, novamente, um questionamento do mesmo aluno sobre a relação entre a velocidade do som e a temperatura do meio, refletindo seu interesse nas aulas.

Figura 33 - Comentários

Comentários =)

4 respostas

Boa tarde professora, eu vi que tinha uma tabela com a velocidade do som e tinha o ar em 0°C e em 20°C, eu não lembro os números corretos mas eu lembro que nos 20°C estava um pouco mais rápido, uns 20m/s mais ou menos, isso quer dizer que quanto mais quente mais rápido o som se propaga?

Amei achei suas aulas muito interjetivas e criativas =)

gostei desse tipo de questionário, obrigado professora.

GOSTEI MUITO.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

6.4.3 3º Momento – Qualidades do som

Neste momento, inicialmente houve uma aula síncrona (3 alunos participaram), em que os conteúdos abordados assincronamente foram lembrados. Em seguida, foi feita a explicação dialogada do conceito de altura e a demonstração de diferentes frequências ao apresentar um vídeo. Então, foram discutidas as frequências componentes do espectro sonoro, incluindo o infrassom e o ultrassom, e foi solicitada a pesquisa de suas aplicações. Para finalizar o estudo dessa primeira qualidade do som, foram feitas as relações com as notas musicais, escalas e acordes.

Ainda nesta aula síncrona, foi introduzido o conceito de timbre, utilizando a mesma demonstração dos diferentes instrumentos, mas por meio da apresentação de vídeos, com a posterior explicação do conceito. Em seguida, foram feitas as mesmas problematizações sobre intensidade sonora e nível sonoro, bem como as explicações.

Após a aula síncrona, foram disponibilizadas duas aulas em “Google Formulários” para reforço do conteúdo de altura e timbre, acrescentadas de algumas questões contextualizadas para pesquisa, disponíveis nos links: <https://forms.gle/ndBHWTrfmZFcHhMq7> e <https://forms.gle/Rv2CnEAomWWUEddf6>, respectivamente. Na semana seguinte, foi postada a aula de reforço do conteúdo de intensidade (<https://forms.gle/QUEDF4kW3rfmjZnN6>), mas foi adicionada uma atividade experimental para medir o nível sonoro de diferentes fontes sonoras e uma pesquisa sobre poluição sonora.

Figura 34 – Nível sonoro

5. O que você observou? Tente explicar com suas palavras.

10 respostas

É como se os sons/ruídos tivessem se juntado formando um som mais intenso.

que com mais aparelhos ligados maior o som

Que quanto dois produtos estão ligados em uma unica fonte o nivel sonoro é mais alto.

A parade abafa o som pelas ondas sonoras que batem na parede e voltam.

Quando os dois ligaram juntos, auxiliarão mais aqui no aplicativo onde fica os gráficos.

Que o nível sonoro foi diferente nas duas fontes, liquidificador e secador de cabelo.

Infelizmente não vou conseguir explicar, mas foi muito louco :)

=7

Que os ponteiros do decibelímetro começou a ficar disparado.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na atividade sobre nível sonoro, os alunos deveriam baixar um aplicativo capaz de medir o nível sonoro dos locais. A medição deveria ser feita em duas fontes sonoras diferentes de sua casa, primeiramente de forma separada e depois as duas juntas, explicando as diferenças. O objetivo não era que os alunos compreendessem a questão da escala logarítmica do nível sonoro, mas sim conseguir relacionar o nível sonoro medido

com a intensidade do som. O questionário teve 10 respostas, onde os alunos conseguiram fazer essa relação, como pode ser visto na Figura 34.

Por fim, foram abordadas as possíveis consequências da intensidade sonora para a audição, mostrando exemplos e seus respectivos níveis sonoros, bem como uma tabela de tempo máximo de exposição a cada nível sonoro, discutida usando os fones de ouvido como exemplo real. Além disso, foi solicitada uma pesquisa sobre poluição sonora, que continha as seguintes questões: 1. Quais os problemas de saúde que os sons com grande intensidade podem trazer para os seres humanos? 2. O que é poluição sonora? 3. Quais são os responsáveis pela poluição sonora no dia a dia? A poluição sonora pode afetar a saúde humana? Justifique. Com essas questões, foi possível conscientizar dos perigos relacionados com a intensidade sonora e a audição.

6.4.4 4º Momento – Fenômenos sonoros

Para abordar o conteúdo de reflexão sonora, foi utilizado o mesmo planejamento elaborado para o ensino presencial, porém em aula síncrona (2 alunos participaram). Posteriormente, foi postada na plataforma Google Sala de Aula uma aula de revisão por meio do “Google Formulários”, com a explicação, exemplos do cotidiano, exemplos de aplicação, exercício e pesquisa sobre aplicações tecnológicas (<https://forms.gle/hUoUeHePtRpWHx3Y7>).

Para problematizar o fenômeno da reflexão sonora, foram mostradas quatro imagens (um aparelho de diagnóstico por ultrassom, um morcego, um submarino, uma grande igreja) e questionado se os alunos conseguiam ver alguma relação entre elas. Na aula síncrona, os dois alunos presentes não observaram nenhuma relação, já na aula de revisão no formulário, pode-se observar as respostas na Figura 35.

Figura 35 – Reflexão sonora

Você consegue ver alguma relação entre as imagens acima? O que elas podem ter em comum?

10 respostas

Ondas

nao, nao sei o que as imagens tem em comum

Não

Todos produzem sons

Em todas elas ocorre um fenômeno chamado reflexão sonora.

todas estas coisas que aparesem nas fotos usan ecolocalização .

ondas de som

Em todas essas imagens ocorre a reflexão sonora.

Todos tem algo a ver com som.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Todas as aulas síncronas realizadas foram gravadas e disponibilizadas para os alunos que não participaram ao vivo. Deste modo, o ideal seria que os alunos assistissem à gravação, para então responder o questionário de revisão. Neste primeiro questionamento da revisão, algumas respostas pareceram indicar que seus respondentes não assistiram à aula gravada ou não lembraram da relação entre as imagens discutidas. Apenas dois alunos responderam que em todas as imagens ocorre reflexão sonora. Embora a maioria conseguiu relacionar as imagens com as ondas sonoras, inclusive um aluno ainda citou a eco localização, o que demonstra que o fenômeno aparece no seu cotidiano.

No momento seguinte desta mesma aula, foi explicado o fenômeno da reflexão sonora, a diferença entre eco, reverberação e reforço e foi feito um exemplo de aplicação. No formulário, foi solicitada a resolução de um exercício e de uma pesquisa: 1) Pesquise uma aplicação tecnológica que utiliza a reflexão do som e explique seu funcionamento. 2) Pesquise como alguns animais utilizam a reflexão do som e dê exemplos. Posteriormente, também foi postada uma lista de exercícios de aplicação (anexo C).

Os fenômenos de ressonância e efeito doppler foram discutidos de forma assíncrona, também da forma anteriormente planejada, mas transposta para o “Google Formulários” (<https://forms.gle/7o6M2EXuZzYdJjGG6>). As demonstrações experimentais e explicações ainda foram realizadas, utilizando vídeos para isso. Então,

primeiramente foram colocados vídeos para problematizar os conceitos, seguidos das explicações dos fenômenos. Para o fenômeno da ressonância, foram feitas duas demonstrações experimentais com questionamentos e para o efeito doppler foi solicitada uma pesquisa.

Para o fenômeno da ressonância, foram feitos dois experimentos. No primeiro, foi utilizado um vídeo com a demonstração de pêndulos oscilantes (<https://www.youtube.com/watch?v=TIcsym0dC9Y>). Após assistir o vídeo, os alunos deveriam escrever o que observaram e como explicariam o fenômeno, na Figura 36 pode-se observar algumas respostas. A maioria conseguiu observar que, por conta da oscilação de um pêndulo, outro começa a oscilar também, mas as explicações foram diversas e apenas um aluno respondeu e relacionou com o fenômeno da ressonância: “Quando um pêndulo começou a balançar, aquele que tinha uma corda com o comprimento parecido com a do pêndulo inicial também começou a balançar, isso aconteceu por conta da ressonância”.

Figura 36 – Ressonância I

1. O que você observou? Tente explicar com as suas palavras.

10 respostas

Que após ele mover somente uma bolinha, as outras começaram a se mover também.

Que quanto mais força tem a bola ela consegue balançar cada vez mais as outras bolas

Um pêndulo atraiu o outro para se mexer, como se transmitisse alguma energia.

Que através da vibração da bolinha vermelha a preta começou a se mover também

Observei que o movimento de um fez o outro começar a se movimentar também.

Notei que as bolas se movimentavam, se a corda fosse mais alta, poucas bolas se mexiam e se fosse mais curta, mais bolas se mexiam.

que a vibração de uma bola faz a outras mexerem tambem

que a frequencia aplicada no primeiro pendulo fica igual a do segundo pendulo eles se movem juntos.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

A questão 2 (Figura 37) teve o objetivo de fazer com que o aluno observasse as características dos pêndulos que oscilam juntos. A maioria indicou a cor do pêndulo, apenas dois alunos fizeram alguma relação com seu comprimento.

Figura 37 – Ressonância II

2. O primeiro pêndulo colocado a oscilar foi o segundo (bolinha vermelha da direita para a esquerda). Depois de alguns segundos, qual pêndulo começa a vibrar (amplitudes maiores) com ele? Qual suas características?

10 respostas

Depois a bolinha preta começar a vibrar com ele, ela tem a mesma distancia da da corda da primeira bolinha que foi mexida antes.

Sim. Teve o mesmo efeito da ponte e o vento.

O primeiro pêndulo preto, da esquerda para direita.

A bolinha preta

A bolinha preta, que está na mesma linha da bolinha vermelho.

A bolinha azul.

o vermelho da direita

a bolinha azul começa a mover para frente e pra trás.

O seaundo da esquerda para a direita. que diferente dos outros é preto.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na questão 3, os alunos deveriam tentar explicar por que só os dois pêndulos oscilaram juntos utilizando o fenômeno da ressonância. A Figura 38 mostra algumas das respostas. As respostas, no geral, indicam que alguns alunos podem ter pesquisado sobre o fenômeno para responder.

Entretanto, dois alunos demonstraram compreender o experimento por meio do fenômeno: “Porque ao soltar a bolinha, as duas bolinhas, tanto a preta quanto a vermelha, começaram a ter um sistema de frequências iguais, pois as duas tem a mesma distância da base onde estão penduradas”; “Os dois tem o comprimento da corda parecido, então eles têm a mesma frequência de oscilação, diferente dos outros que tem um comprimento de corda diferente e, por tanto, a frequência de oscilação deles é diferente”.

Figura 38 – Ressonância III

3. Utilize o fenômeno da ressonância para tentar explicar porque só esses dois pêndulos oscilaram juntos com amplitudes parecidas.

10 respostas

Porque ao soltar a bolinha, as duas bolinhas tanto a preta quanto a vermelha começaram a ter um sistema de frequências iguais, pois as duas tem a mesma distância da base onde estão penduradas.

Quando esse material recebe energia por meio de excitações de frequência igual a uma de suas frequências naturais, ele começa a vibrar com amplitudes cada vez maiores e pode romper. Por Exemplo: Para empurrar o balanço ou fazer impulso, você precisa estar em ressonância com o movimento pendular do balanço, ou seja, neste mesmo ritmo, para fazer com que sua altura do chão aumente.

A ressonância ocasiona um aumento na amplitude de oscilação maior do que aquele ocasionado por outras frequências. Se aplicarmos uma força sobre o pêndulo periodicamente sempre que ele se encontrar em seu ponto mais alto. Fazendo isso, o sistema passará a oscilar em amplitudes cada vez maiores. Entretanto, se a força for aplicada com uma frequência diferente, não teremos a mesma eficiência em fornecer energia a esse balanço.

...

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

No segundo experimento de ressonância, foi utilizado um vídeo de uma demonstração experimental com dois diapásões (<https://www.youtube.com/watch?v=4pEVl2Q86QM>). Inicialmente os alunos deveriam observar o que acontece e tentar explicar. A maioria conseguiu observar que ao vibrar um diapásão, o outro também começa a emitir som, mas nenhum aluno utilizou (sozinho) a ressonância para explicar o experimento. Um dos alunos respondeu “O diapásão vibrava, mesmo que ele sequer fosse tocado, ele conseguia vibrar apenas com a vibração do outro diapásão”, indicando a compreensão de que a vibração de um está relacionada à vibração do outro.

Na segunda questão, “*No vídeo, inicialmente, temos dois diapásões iguais que emitem som com frequências de 440Hz. Por que, ao vibrar um diapásão, o outro também começa a emitir som?*”, foi indicado o que ocorre no experimento e solicitado uma explicação. Todos os alunos demonstraram compreender a relação do experimento com a frequência natural dos diapásões, ao responder algo do tipo “Porque as ondas sonoras passaram de um objeto para o outro, pois os dois tem a mesma frequência”.

Na segunda parte do vídeo, foi colocado uma peça a mais em um dos diapásões e os alunos deveriam observar o que acontece ao repetir o experimento e tentar explicar. A maioria dos alunos conseguiu observar que o resultado não é o mesmo que antes, mas

apenas três alunos conseguiram dar uma explicação, relacionando com a frequência: “A onda sonora que ele emite não corresponde mais à frequência de ressonância do outro diapasão. Como tal, a energia é transferida da onda sonora para o diapasão acionado com menos eficiência”, “O som parou, já que uma de suas antenas foi "danificada" ele não consegue reproduzir o mesmo som”, “Com a peça a frequência dos diapasões ficaram diferentes e o som do um diapasão passou a interferir no som do outro, já que eles possuem frequências diferentes”.

Na última questão, foi solicitada uma explicação utilizando o fenômeno da ressonância. Cinco alunos não responderam a questão, dois alunos pareceram ter pesquisado a resposta e três alunos tentaram explicar com suas palavras: “quando ele não tinha acrescentado nada em nenhum dos dois objetos, eles tinha as frequências iguais, onde transmitiam um som para o outro, mas após ele adicionar aquilo no objeto da direita, as frequências mudaram e por isso eles não conseguiram mais transmitir o som um para o outro”, “a vibração pode se propagar através do ar chegando a outro metal” e “como as frequências dos diapasões são iguais, a energia de vibração de um é transmitida para o outro através do som”.

Por fim, para o fenômeno do efeito doppler, após fazer uma problematização com vídeos do fenômeno e a explicação, foi solicitada uma pesquisa da importância do fenômeno e de suas aplicações no cotidiano.

6.4.5 5º Momento – Instrumentos Musicais

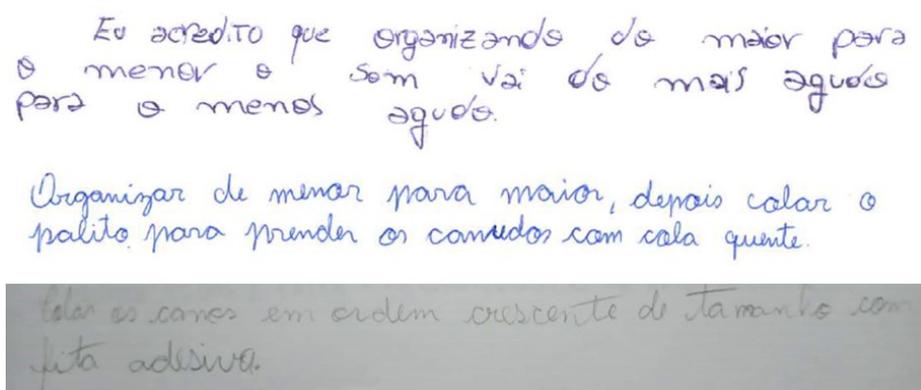
Esse momento ocorreu no segundo semestre de 2021, após o recesso escolar. Neste período, a escola em que o produto foi aplicado voltou o ano letivo na forma presencial. Sendo assim, as atividades propostas para essa parte da sequência não precisaram ser adaptadas, entretanto, precisaram ser realizadas cuidadosamente, respeitando as medidas de prevenção ao coronavírus, como o distanciamento social, o uso de máscaras, a higienização constante das mãos e o não compartilhamento de materiais entre os colegas. Além disso, ao retornar ao presencial, optou-se por fazer uma revisão de todos os conteúdos da proposta e recuperação paralela para os alunos que não participaram das atividades remotas, para então prosseguir com as atividades.

6.4.5.1 Instrumentos de tubos

Optou-se por iniciar essa parte do projeto com a atividade prática sobre ondas nos instrumentos musicais de tubos sonoros. Os alunos foram divididos em quatro duplas e um trio, para permitir um maior distanciamento (11 alunos). Inicialmente foram explicadas as regras para realizar o experimento sem compartilhar materiais entre os colegas, bem como foi feita uma pequena revisão dos conceitos principais estudados necessários para completar a atividade. Foram entregues os canos de pvc já cortados no tamanho aproximado para cada dupla e um roteiro experimental.

No primeiro questionamento do roteiro, os alunos deveriam escrever suas ideias iniciais para construção de uma flauta pã, três duplas mencionaram a relação com o tamanho dos tubos. Suas respostas podem ser observadas abaixo (Figura 39):

Figura 39 - Tubos 1



Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na segunda questão, os alunos deveriam descobrir a nota e a frequência emitida por cada tubo, utilizando um afinador e medir o tamanho deles. Na Figura 40, é possível observar que a maioria das duplas fez o procedimento corretamente.

A terceira questão questionou o porquê de as notas emitidas serem diferentes. O objetivo principal era compreender a relação entre o som e o comprimento dos tubos, o que foi demonstrado em todas as respostas, como pode ser visto na Figura 41.

Figura 40 – Tubos 2

2. Descubra quais as notas emitidas pelos tubos da sua flauta.

Nota	Dó(C)	Ré(D)	Mi(E)	Fá(F)	Sol(G)	Lá(A)	Si(B)
f(Hz)	261 Hz	293 Hz	329 Hz	349 Hz	392 Hz	440 Hz	493 Hz
Tamanho (cm)	33 cm	29,5 cm	26,5 cm	25 cm	23 cm	20,5 cm	19,5 cm

2. Descubra quais as notas emitidas pelos tubos da sua flauta.

Nota	Dó(C)	Ré(D)	Mi(E)	Fá(F)	Sol(G)	Lá(A)	Si(B)
f(Hz)	261	293	329	349	392	440	493
Tamanho (cm)	34	29,5	26,5	25,5	23	19,5	9

2. Descubra quais as notas emitidas pelos tubos da sua flauta.

Nota	Dó(C)	Ré(D)	Mi(E)	Fá(F)	Sol(G)	Lá(A)	Si(B)
f(Hz)	198	246	292	349	392	440	493
Tamanho (cm)	33,5	30	26,5	25,5	22,5	21	19

2. Descubra quais as notas emitidas pelos tubos da sua flauta.

Nota	Dó(C)	Ré(D)	Mi(E)	Fá(F)	Sol(G)	Lá(A)	Si(B)
f(Hz)	261	293	329	349	392	440	493
Tamanho (cm)	31,5	30	27	25,5	23	20,5	19,2

2. Descubra quais as notas emitidas pelos tubos da sua flauta.

Nota	Dó(C)	Ré(D)	Mi(E)	Fá(F)	Sol(G)	Lá(A)	Si(B)
f(Hz)	132,00	294,00	165,00	349,00	198,00	220,00	249,00
Tamanho (cm)	19 cm	20 cm	23 cm	25 cm	26 cm	27 cm	19,1 cm

34 cm 30 cm 27 cm 27 cm 22 cm 20 cm

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Figura 41 – Tubos 3

3. Por que as notas obtidas são diferentes?

Por causa do tamanho dos canos, cada cano tem uma frequência diferente.

3. Por que as notas obtidas são diferentes?

Por causa do tamanho dos canos, causando alteração no som.

3. Por que as notas obtidas são diferentes?

Por conta do comprimento dos canos, e pelo número da frequência.

3. Por que as notas obtidas são diferentes?

Porque há o aumento e a diminuição da frequência.

3. Por que as notas obtidas são diferentes?

R: PORQUE OS CANOS TEM TAMANHOS DIFERENTES QUE EMITEM SOM E NOTAS DIFERENTES.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Por fim, na conclusão da atividade, as duplas deveriam descrever o que aprenderam. Todas as duplas conseguiram demonstrar em suas respostas (Figura 42) a compreensão de que o tamanho do tubo interfere no som produzido por ele, sendo que o

aumento do comprimento do tubo corresponde a uma diminuição da frequência emitida. Sendo assim, essa atividade teve os objetivos alcançados.

Figura 42 – Tubos: conclusão

Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Aprendemos mais sobre as notas musicais e sobre as frequências de cada uma delas. Quanto menor é o tamanho do cano, maior será a frequência.

Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Aprendemos que quanto menor o ~~cano~~ cano, mais agudo o som será.

Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Através da frequência é possível afinar o instrumento de uma forma perfeita, de forma que fique um número padrão de diferença entre as outras notas. Quanto maior o cano da Flauta Bã mais grave será a frequência. É possível ver isso na tabela.

Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Quanto maior o cano menor a frequência.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

6.4.5.2 Instrumentos de cordas

Na atividade com instrumentos de cordas (violões), cada dupla recebeu um violão e um roteiro experimental. Primeiramente, foi feito o questionamento: *Existe diferença entre as cordas de um violão?* Os alunos escreveram suas hipóteses iniciais (Figura 43), foram citadas algumas grandezas que mudam para cada corda, como grossura (espessura), tamanho e tensão.

Figura 43 – Cordas 1

1. Existe diferença entre as cordas no violão?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

Quanto mais grossa a corda, mais grave é o som.

1. Existe diferença entre as cordas no violão?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

Sim, pela grossura das cordas e pelo tamanho de cada uma delas.

1. Existe diferença entre as cordas no violão?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

Sim, as cordas possuem grossuras diferentes e de acordo com sua grossura o som fica mais grave ou agudo. Quanto mais fina a corda mais agudo o som.

1. Existe diferença entre as cordas no violão?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

Sim, cada corda emite um som por causa da tensão da corda e

1. Existe diferença entre as cordas no violão?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

Sim. A diferença entre cada corda é a espessura e a tensão entre elas.

1. Existe diferença entre as cordas no violão?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

Sim, cada tipo de corda produz um som diferente, quanto mais grossa for a corda, mais agudo o som será.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Para estudar o som emitido pelas cordas do violão, os alunos utilizaram o afinador e anotaram a frequência de cada uma delas. A maioria das duplas fez o procedimento corretamente, algumas apenas inverteram a ordem das cordas, como pode ser observado na Figura 44.

Em seguida, os alunos deveriam descrever o que descobriram e explicar. A maioria dos alunos conseguiu compreender que a espessura da corda está relacionada com a frequência do som emitido por ela, e alguns ainda demonstraram que essa relação é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a espessura, menor a frequência e mais grave será o som (Figura 45).

Figura 44 – Cordas 1a

- a. Descubra a frequência que cada corda emite. (se necessário, afine o instrumento - gire as cravelhas até o afinador indicar a nota correspondente).

Corda	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Nota	Mi	Si	Sol	Ré	Lá	Mi
f (Hz)	329 Hz	246 Hz	196 Hz	146 Hz	110 Hz	82 Hz

- a. Descubra a frequência que cada corda emite. (se necessário, afine o instrumento - gire as cravelhas até o afinador indicar a nota correspondente).

Corda	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Nota	Mi	Si	Sol	Ré	Lá	Mi
f (Hz)	329	246	196	146	110	82

- a. Descubra a frequência que cada corda emite. (se necessário, afine o instrumento - gire as cravelhas até o afinador indicar a nota correspondente).

Corda	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Nota	Mi	Si	Sol	Ré	Lá	M
f (Hz)	329	246	196	146	110	82

- a. Descubra a frequência que cada corda emite. (se necessário, afine o instrumento - gire as cravelhas até o afinador indicar a nota correspondente).

Corda	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Nota	Mi	Si	Sol	Ré	Lá	Mi
f (Hz)	329	246	196	146	110	82

- a. Descubra a frequência que cada corda emite. (se necessário, afine o instrumento - gire as cravelhas até o afinador indicar a nota correspondente).

Corda	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Nota	Mi	Si	Sol	Ré	Lá	Mi
f (Hz)	329 Hz	246 Hz	196 Hz	146 Hz	110 Hz	82 Hz

- a. Descubra a frequência que cada corda emite. (se necessário, afine o instrumento - gire as cravelhas até o afinador indicar a nota correspondente).

Corda	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Nota	Mi	Si	Sol	Ré	Lá	Mi
f (Hz)	164	82	196	146	110	82

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Figura 45 – Cordas 1b

- b. O que você descobriu? Explique sua conclusão.

Quanto maior o H, mais agudo é o som

- b. O que você descobriu? Explique sua conclusão.

Descobrimos que pela grossura da corda conseguimos identificar as notas e suas frequências.

- b. O que você descobriu? Explique sua conclusão.

Que quanto mais grossa a corda é, mais grave é o som que ela produz.

- b. O que você descobriu? Explique sua conclusão.

quanto mais fino a nota, maior a frequência.

- b. O que você descobriu? Explique sua conclusão.

Descobrimos que quanto mais fina a corda maior é a frequência.

- b. O que você descobriu? Explique sua conclusão.

que cada corda dependendo do material ou tamanho o som produzido é diferente.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na questão seguinte, “quando afinamos, apertamos ou afrouxamos as cordas, o que muda no som?” (Figura 46), todos os alunos relacionaram a resposta com a frequência do som gerado. Porém, nenhum aluno fez menção do comprimento, talvez pelo fato de não associar a afinação (apertar e afrouxar) com a variação do tamanho da corda.

Figura 46 – Cordas 1c

- c. Quando afinamos, apertamos ou afrouxamos as cordas, o que muda no som? Explique por que isso ocorre.
Apertamos as cordas. Quanto mais aperta, mais alto o Hz
- c. Quando afinamos, apertamos ou afrouxamos as cordas, o que muda no som? Explique por que isso ocorre.
Dim, porque quando apertamos as cordas o som fica mais agudo, e quando afrouxamos o som fica com grave.
- c. Quando afinamos, apertamos ou afrouxamos as cordas, o que muda no som? Explique por que isso ocorre.
Quanto mais apertamos, mais agudas ficam as notas. Porque uma corda mais apertada vibra mais, deixando o som agudo.
- c. Quando afinamos, apertamos ou afrouxamos as cordas, o que muda no som? Explique por que isso ocorre.
quanto mais apertamos muda a frequência da corda por causa da tensão que é feita
- c. Quando afinamos, apertamos ou afrouxamos as cordas, o que muda no som? Explique por que isso ocorre.
Quando se passar que apertamos ou afrouxamos as cordas, diminuem ou aumentam a tensão mudando o comprimento do som
- c. Quando afinamos, apertamos ou afrouxamos as cordas, o que muda no som? Explique por que isso ocorre.
Quando afinamos e apertamos as cordas, o som produzido fica mais próximo da nota emitida.

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na segunda parte da atividade, os alunos investigaram como se toca o instrumento. Primeiramente, eles precisaram lembrar que essa técnica é feita pressionando as cordas com os dedos. Para isso foi feita uma problematização inicial que pode ser observada na Figura 47. Em seguida, cada dupla escolheu uma corda para pressionar diversas casas e medir a frequência e as notas obtidas (Figura 48).

Figura 47 – Cordas 2

2. Como tocamos esse instrumento? Como se faz os acordes?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

Os acordes são as notas, dedilhamos os acordes e tocamos as cordas.

2. Como tocamos esse instrumento? Como se faz os acordes?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

~~Presionando como corda em uma das cordas~~

Presionando uma corda (ou mais) em uma das casas.

2. Como tocamos esse instrumento? Como se faz os acordes?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

com os dedos ou com uma plectro. Presionando os dedos nas casas do braço do violão.

2. Como tocamos esse instrumento? Como se faz os acordes?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

dedos os dedos, fazendo um certo número de notas

2. Como tocamos esse instrumento? Como se faz os acordes?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

colocamos os dedos nas casas determinadas com uma mão e com a outra tocamos (pressionamos) fazendo um certo ritmo.

2. Como tocamos esse instrumento? Como se faz os acordes?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

Presionando as cordas nas casas o som muda, fazendo assim ter diferentes

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Figura 48 – Cordas 2a

a. Descubra a nota obtida quando apertamos as casas:

Casa	2	4	6	8	10
Nota	Si	Reb	Mib	Fa	Sol
f (Hz)	123 Hz	138 Hz	155 Hz	174 Hz	196

a. Descubra a nota obtida quando apertamos as casas:

Si

Casa	2	4	6	8	10
Nota	Si	Mib	Fa	Sol	La
f (Hz)	222	311	349	396	440

a. Descubra a nota obtida quando apertamos as casas:

Sol

Casa	2	4	6	8	10
Nota	La	Si	Reb	Mib	Fa
f (Hz)	110	246	277	311	349

a. Descubra a nota obtida quando apertamos as casas:

Casa	2	4	6	8	10
Nota	Re#	La#	Re#	La	E
f (Hz)	92	103	116	130	146

a. Descubra a nota obtida quando apertamos as casas:

Casa	2	4	6	8	10
Nota	Sol	Reb	Mib	Do	Re
f (Hz)	269 Hz	415 Hz	466 Hz	523 Hz	587 Hz

a. Descubra a nota obtida quando apertamos as casas:

2ª Corda

Casa	2	4	6	8	10
Nota	Re	La	Si	Fa	Lo
f (Hz)	277	103	116	349	440

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na questão seguinte, “o que ocorre com o som à medida que pressionamos as cordas nas casas?” (Figura 49), todas as duplas chegaram à conclusão de que à medida que se pressionam as casas, a frequência aumenta, emitindo sons mais agudos. A maioria dos alunos também compreendeu que esse aumento se dá devido à diminuição da “parte” da corda que vibra, ou seja, o comprimento da corda vibrante.

Figura 49 – Cordas 2b

- b. O que ocorre com o som à medida que pressionamos as cordas nas casas?
Explique porque isso ocorre.
*A nota muda, e a frequência também.
Quando apertamos uma nota, a corda vibra de um
no lado, fazendo a corda diminuir de tamanho.*
- b. O que ocorre com o som à medida que pressionamos as cordas nas casas?
Explique porque isso ocorre.
*A medida que apertamos as cordas, elas ficam mais rígidas
causando o som agudo.*
- b. O que ocorre com o som à medida que pressionamos as cordas nas casas?
Explique porque isso ocorre.
*elas ficam mais agudas, pois quando apertamos
as casas o comprimento da corda diminui.*
- b. O que ocorre com o som à medida que pressionamos as cordas nas casas?
Explique porque isso ocorre.
a frequência muda e a tensão dos cordões muda.
- b. O que ocorre com o som à medida que pressionamos as cordas nas casas?
Explique porque isso ocorre.
*quando pressionamos a corda em certo caso da nota
o campo de vibração da corda diminui, fazendo
o frequência mudar.*
- b. O que ocorre com o som à medida que pressionamos as cordas nas casas?
Explique porque isso ocorre.
*Quando pressionamos as cordas na
casa, encurtamos o tamanho dela,
influenciando na frequência e mudando
o som.*

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

Na Figura 50, pode-se visualizar as conclusões dos alunos e nelas observam-se algumas grandezas que foram relacionadas com a frequência do som emitido, como o comprimento da corda, a espessura e a tensão aplicada.

Ao finalizar essa atividade, os resultados dos dois experimentos (tubos e cordas) foram discutidos e foi feita uma breve explicação da física dos instrumentos musicais, abordando conceitos como ondas estacionárias, ondas em cordas (fórmula de Taylor), modos de vibração em cordas e tubos.

Figura 50 – Cordas: conclusão

3. Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Quanto maior a corda, mais grave é o som, fazendo com que a frequência diminua.

3. Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Aprendemos que um instrumento com cordas se define com o tamanho das cordas para a vibração sonora.

3. Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Que as notas mudam de acordo com as casas que pressionamos e que as notas ficam mais agudas de acordo com que apertamos as cordas.

3. Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

que o violão é um instrumento com muitos tons e frequências diferentes e é um instrumento versátil e muito fácil de tocar.

3. Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Eu aprendi vários coisas como o tom das cordas influencia no som do instrumento.

3. Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

Aprendemos como funciona as notas de um violão, como funciona os acordes vocais, as diferentes notas conforme os acordes, etc...

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

6.4.6 6º Momento - Avaliação

Na última aula da aplicação do projeto, foi entregue uma avaliação individual (anexo D) para os alunos sobre todo o conteúdo abordado. Como a aprendizagem de alguns alunos da turma foi prejudicada devido aos transtornos oriundos da pandemia de Covid-19, esta avaliação não foi considerada para compor a média da nota dos alunos. Portanto, os alunos não tiveram a obrigação de responder todas as questões e de estudar para a prova. Nove alunos da turma estavam presente e entregaram a avaliação.

Inicialmente, foi feito um levantamento da participação dos alunos em cada atividade. Após listar e enumerar todas as atividades aplicadas nesta sequência didática, foi inserido um quadro (questão 1) para que os alunos classificassem de 0 a 5 (0= nada; 1=pouco; 5=muito) alguns itens relacionados às aulas. A quantidade de alunos que assinalou cada número (0 a 5) para cada item pode ser observada no quadro 5. Além disso, na segunda questão, foi solicitado que os alunos listassem as aulas que lembravam de ter participado.

Quadro 4 – Marcações da avaliação

Marcações de cada número					
Números para classificação	1	2	3	4	5
Você participou das aulas de ondas e acústica do GSA?	3	2	0	3	1
As aulas foram interessantes?	0	0	0	5	4
Você aprendeu os conteúdos?	0	2	3	0	4
Você teve dificuldades?	2	1	2	2	2
Se você pudesse avaliar o seu desempenho no geral, qual seria a sua nota?	0	1	5	1	2
Que nota você daria para as aulas de ondas e acústica?	0	0	0	1	8

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Analisando o quadro 5 e as respostas da segunda questão, é possível refletir sobre a participação dos alunos nas aulas, tanto nas remotas (Google Sala de Aula), quanto nas presenciais. Apenas um aluno marcou que participou da maioria das aulas e, das 13 atividades listadas, ele mencionou que lembrava de 9 delas. Quatro alunos só participaram das atividades realizadas presencialmente, ou seja, as atividades sobre os instrumentos musicais. Os outros alunos participaram de poucas atividades.

A maioria dos alunos marcaram que acharam as aulas interessantes e alguns deles apontaram que aprenderam os conteúdos. Em relação às dificuldades encontradas, a turma ficou bastante dividida, mas a maioria avaliou o desempenho com nota média. Na terceira questão, foi perguntado qual atividade chamou mais atenção e a mais citada foi a atividade sobre instrumentos musicais de cordas, no caso, o experimento utilizando o violão.

Na segunda parte da avaliação, foram feitas algumas questões sobre o conteúdo. Sobre o conteúdo de ondas, somente dois alunos demonstraram compreender o que é uma onda e as diferenças entre ondas mecânica e eletromagnética.

Sobre o conceito de som, quatro alunos compreenderam como o som é formado e como se propaga. Na questão sobre as qualidades sonoras, apenas dois alunos relacionaram a altura com a frequência (grave e agudo) e um aluno relacionou com intensidade. Somente um aluno lembrou o que são o infrassom e o ultrassom. Um aluno

conceituou corretamente a intensidade sonora e dois alunos o timbre. Poucos indicaram que a intensidade sonora pode prejudicar a audição.

Nas questões seguintes, apenas um aluno soube explicar o que é a reflexão sonora e três conseguiram diferenciar eco, reverberação e reforço. Nas questões sobre os instrumentos musicais, em torno de quatro alunos demonstraram compreender os conceitos principais.

Esta avaliação mostrou que a maioria dos alunos gostaram das aulas que participaram, acharam interessantes e demonstraram motivação. Entretanto, a segunda parte revelou que poucos alunos compreenderam os conteúdos abordados nas aulas. Isso pode ser justificado pelas dificuldades encontradas no ensino remoto, em especial a falta de participação dos alunos nas aulas, o que também é manifestado por um dos alunos em seu comentário final, que pode ser observado na Figura 51.

Figura 51 – Comentário final

6) Faça um comentário sobre as aulas.

As aulas foi muito interessantes, e vi que o professor se esforçou para nos ensinar, mais por conta de eu estar estudando online e ter faltado ^{algumas} aulas, eu não aprendi muita.
Obrigado!

Fonte: Elaborado pelos alunos (2021)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi desenvolvida uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para abordar os conceitos de ondas e acústica no Ensino Médio. Ao elaborar o produto para aplicação, buscou-se desenvolver atividades que levem em consideração o conhecimento prévio que o aluno possui, buscando uma aprendizagem significativa.

A sequência didática foi elaborada ao longo do ano de 2020 e estava pronta para ser aplicada no início de 2021. Entretanto, esse período foi marcado por uma pandemia de coronavírus que obrigou as escolas migrarem para um regime especial de ensino não presencial, para evitar o contágio. Por esse motivo, o projeto elaborado precisou ser adaptado para uma aplicação de forma remota, gerando o desafio de proporcionar uma aprendizagem significativa à distância.

Para analisar as ideias iniciais dos alunos sobre os conceitos a serem abordados, foram sugeridos mapas mentais e questionários, que foram aplicados em momentos anteriores às aulas de explicação. Porém, não é possível afirmar que essas atividades foram realizadas pelos alunos sem a interferência de informações externas, como pesquisas na internet. Uma forma de solucionar essa questão seria realizar essas atividades de forma síncrona, como a nuvem de palavras construída coletivamente utilizando o “Mentimeter”.

As situações problemas de nível introdutório também puderam ser adaptadas. Neste caso, foi feita uma atividade experimental (telefone com fio), em que foi possível problematizar a propagação do som, por meio do “Google Formulários”. O formulário foi elaborado para ser interativo e, dentro do possível, dialogar com as ideias dos alunos.

Nas demais aulas, foram feitas explicações dialogadas de forma síncrona em aulas utilizando o “Google Meet”, essas aulas tiveram pouquíssima participação dos alunos. Em seguida, foram feitas revisões assíncronas utilizando o “Google Formulários” para retomar o conteúdo ministrado, visando o processo de diferenciação progressiva. Essas revisões tiveram maior participação e foram interativas. Porém, a participação somente nas aulas de revisão pode não ser o bastante para promover as discussões e garantir a interação com o conhecimento prévio dos alunos.

A avaliação da aprendizagem dos alunos foi realizada ao longo da implementação da sequência didática, por meio das atividades no “Google formulários”, listas de exercícios, entre outras. Pode-se considerar os formulários do Google um ótimo recurso para utilizar em aulas assíncronas, pois permite uma certa interação dos respondentes com

a plataforma, além de oferecer a possibilidade da inserção de imagens, vídeos e diversos tipos de questões. Apesar disso, somente aulas assíncronas podem ser suficientes para promover uma aprendizagem significativa.

A participação nas aulas síncronas é um fator imprescindível para proporcionar discussões e diálogos entre os conhecimentos que os alunos já possuem e as novas informações. As aulas síncronas ofertadas no decorrer da aplicação desta sequência didática tiveram uma participação média de dois alunos. Um deles não retornou ao ensino presencial para finalização das atividades, por pertencer ao grupo de risco. Além dele, outros alunos não finalizaram e muitos apareceram somente no retorno ao presencial, participando somente de três aulas (revisão e atividades com instrumentos musicais).

Tendo em vista as dificuldades relacionadas à pandemia, a adaptação e aplicação das aulas foram possíveis de serem feitas, porém as potencialidades de cada atividade foram diminuídas, pois elas poderiam apresentar resultados ainda melhores. Isso pode ser justificado não só pela alteração das ferramentas didáticas, mas principalmente pelo retorno e participação dos alunos, visto que o ensino remoto requer uma aprendizagem muito mais autônoma.

Sendo assim, é possível perceber que a educação de forma remota necessita de outros olhares, não só relacionado às possíveis metodologias, mas também relacionados ao retorno dos alunos. Para isso é fundamental reconhecer que cada indivíduo está inserido em um contexto social distinto, para então refletir sobre ações que objetivam alcançar esses alunos.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- ARAUJO, R. V. **Implementação de metodologias ativas: Aprendizagem baseada em projetos em aulas de Física sobre acústica no Ensino Médio à luz dos Campos Conceituais**. Tramandaí: UFRGS, 2019
- BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2000.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- CALDAS, G. G. **Atividades experimentais de Acústica para o ensino de Física: Uma Proposta na Inclusão de Surdos**. Belém: UFPA, 2017.
- CARVALHO, R. M. **Acústica e Cidadania: Uma abordagem CTS para o Ensino Fundamental**. Juazeiro: UNIVASF, 2016.
- COELHO, A. L. M. B. **Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória**. Brasília: UnB, 2016.
- EZEQUIEL, L. F. C. **Análise de perfil conceitual em ciclos de modelagem: Um estudo sobre o ensino do Efeito Doppler**. Lavras: UFLA, 2016.
- FREITAS, P. H. **Tubo de Diretividade Sonora (TDS): Confeção de um modelo experimental para o estudo da Acústica**. Araranguá: UFSC, 2019.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, vol 2, 2014.
- JULIANI, J. P. **Matemática e Música**. 2003. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Matemática, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.
- LERIAS, W. R. **A Física da Música e a pluralidade didática**. Campo Mourão: UTFPR, 2016.

- LIMA, J. J. P. **Ouvido, Ondas e Vibrações: Aspectos físicos e biofísicos.** Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.
- MAZETI, L. J. B. **Seqüência Didática: Uma alternativa para o ensino de acústica no Ensino Médio.** Sorocaba: UFSCar, 2017.
- MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa.** Porto Alegre: UFRGS, 2009.
- MOREIRA, M. A. **O que é afinal Aprendizagem Significativa?** Revista cultural La Laguna Espanha, 2012.
- MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e Aprendizagem Significativa.** São Paulo: Centauro, 2010.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica.** III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Lisboa (Peniche), 2000.
- MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS.** In SILVA, Márcia Gorette Lima da. et. al (org). Temas de ensino e formação de professores de ciências. Natal, RN: EDUFRRN, 2012b. p. 45 - 57.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Vol. 2 Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor,** 4a ed., Edgard Blucher (2002).
- RODRIGUES, E. V. **Atividades para o aprendizado de Acústica.** Vitória: UFES, 2016.
- SANTOS, J. R. **Aprendizagem Ativa: uma proposta para o ensino de Luz e Som.** São Cristóvão: UFS, 2016.
- YOUNG, H; FREEDMAN, R., **FISICA II. Termodinâmica e Ondas.** 14a ed. São Paulo, Pearson Education do Brasil Ltda., 2015.
- YOUNG, H; FREEDMAN, R., **FISICA I. Mecânica.** 12a ed. São Paulo, Pearson Addison Wesley, 2008.

APÊNDICE A – Produto Educacional



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

Instrumentos Musicais: Contextualizando o Ensino de Acústica

Caroline Machado Canto
Orientadora Prof^ª. Dr. Marcia Martins Szortyka

Araranguá

2022

APRESENTAÇÃO

Caro (a) professor (a),

Este produto educacional foi desenvolvido para a aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre o conteúdo de ondas e acústica, como parte de uma pesquisa em ensino de física da dissertação de mestrado intitulada “Instrumentos Musicais: Contextualizando o Ensino de Acústica”.

O material tem como objetivo fornecer um apoio para professores, como fonte de pesquisa para o ensino de ondulatória e acústica. Foi elaborado pela acadêmica Caroline Machado Canto, do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), polo de Araranguá, orientada pela professora Dr. Marcia Martins Szortyka.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Propagação de ondas I.....	16
Figura 2 – Propagação de ondas II.....	16
Figura 3 – Propagação de ondas III.....	17
Figura 4 - pulso	18
Figura 5 – Onda no lago.....	18
Figura 6 – Formas de propagação das ondas.....	19
Figura 7 – Ondas periódicas.....	20
Figura 8 – Exemplo 1	21
Figura 9 – Recorte da figura 8.....	22
Figura 10 – Simulação “PHET”	23
Figura 11 – questão 3	25
Figura 12 – questão 5	26
Figura 13 – questão 7	26
Figura 14 – Código para leitura das respostas do questionário	27
Figura 15 – Ondas sonoras	29
Figura 16 – Velocidade do som.....	29
Figura 17 - Espectro sonoro	31
Figura 18 – Notas musicais	31
Figura 19 - Ruídos.....	34
Figura 20 – Tempo máximo de exposição ao ruído	35
Figura 21 – Instrumentos musicais.....	35
Figura 22 - Timbre	36
Figura 23 - Harmônicos de uma onda sonora.....	36
Figura 24 – Fenômenos sonoros.....	37
Figura 25 – Reflexões do som.....	37
Figura 26 – Som direto e som refletido.....	38
Figura 27 - Efeito Doppler	42
Figura 28 - Ressonância	42
Figura 29 – Cordas do Violão	44
Figura 30 - Flauta pã	46
Figura 31 – Modos de vibração.....	47
Figura 32 – Cordas: primeiro harmônico	48
Figura 33 – Cordas: segundo harmônico.....	48
Figura 34 – Cordas: terceiro harmônico.....	49
Figura 35 - Flauta doce.....	52
Figura 36 - Tubo aberto: primeiro harmônico.....	52
Figura 37 - Tubo aberto: segundo harmônico	53
Figura 38 - Tubo aberto: terceiro harmônico	53
Figura 39 - Flauta pã	54
Figura 40 - Tubo fechado: primeiro harmônico	54
Figura 41 - Tubo fechado: terceiro harmônico.....	55
Figura 42 - Tubo fechado: primeiro harmônico	55
Figura 43 - Formulário 1.1	58
Figura 44 - Formulário 1.2	59
Figura 45 - Formulário 1.3	60
Figura 46 - Formulário 1.4	61

Figura 47 - Formulário 1.5	61
Figura 48 - Formulário 1.6	62
Figura 49 - Formulário 1.7	62
Figura 50 - Formulário 1.8	63
Figura 51 - Formulário 1.9	63
Figura 52 - Formulário 1.10	64
Figura 53 - Formulário 1.11	64
Figura 54 - Formulário 1.12	65
Figura 55 - Formulário 1.13	65
Figura 56 - Formulário 1.14	66
Figura 57 - Formulário 1.15	66
Figura 58 - Formulário 1.16	67
Figura 59 - Formulário 1.17	67
Figura 60 - Formulário 1.18	68
Figura 61 - Formulário 1.19	69
Figura 62 - Formulário 1.20	70
Figura 63 - Formulário 1.21	70
Figura 64 - Formulário 1.22	71
Figura 65 - Formulário 1.23	72
Figura 66 - Formulário 1.24	72
Figura 67 - Formulário 1.25	73
Figura 68 - Formulário 1.26	73
Figura 69 - Formulário 1.27	74
Figura 70 - Formulário 1.28	75
Figura 71 - Formulário 1.29	75
Figura 72 - Formulário 1.30	76
Figura 73 - Formulário 1.31	76
Figura 74 - Formulário 1.32	77
Figura 75 - Formulário 1.33	77
Figura 76 - Formulário 1.34	78
Figura 77 - Formulário 1.35	78
Figura 78 - Formulário 1.36	79
Figura 79 - Formulário 1.37	79
Figura 80 - Formulário 1.38	80
Figura 81 - Formulário 1.38	80
Figura 82 - Formulário 2.1	81
Figura 83 - Formulário 2.2	81
Figura 84 - Formulário 2.3	82
Figura 85 - Formulário 2.4	83
Figura 86 - Formulário 2.5	83
Figura 87 - Formulário 2.6	84
Figura 88 - Formulário 2.7	85
Figura 89 - Formulário 2.8	86
Figura 90 - Formulário 2.9	86
Figura 91 - Formulário 3.1	87
Figura 92 - Formulário 3.2	88
Figura 93 - Formulário 3.3	88
Figura 94 - Formulário 3.4	89

Figura 95 - Formulário 3.5	89
Figura 96 - Formulário 3.6	90
Figura 97 - Formulário 3.7	90
Figura 98 - Formulário 3.8	91
Figura 99 - Formulário 3.9	91
Figura 100 - Formulário 3.10	92
Figura 101 - Formulário 3.11	92
Figura 102 - Formulário 3.12	93
Figura 103 - Formulário 3.13	93
Figura 104 - Formulário 4.1	94
Figura 105 - Formulário 4.2	95
Figura 106 - Formulário 4.3	96
Figura 107 - Formulário 4.4	97
Figura 108 - Formulário 4.5	98
Figura 109 - Formulário 4.6	98
Figura 110 - Formulário 5.1	99
Figura 111 - Formulário 5.2	99
Figura 112 - Formulário 5.3	100
Figura 113 - Formulário 5.4	100
Figura 114 - Formulário 5.5	101
Figura 115 - Formulário 5.6	102
Figura 116 - Formulário 5.7	102
Figura 117 - Formulário 5.8	103
Figura 118 - Formulário 5.9	103
Figura 119 - Formulário 5.10	104
Figura 120 - Formulário 5.11	105
Figura 121 - Formulário 5.12	105
Figura 122 - Formulário 5.13	106
Figura 123 - Formulário 5.14	107
Figura 124 - Formulário 6.1	108
Figura 125 - Formulário 6.2	108
Figura 126 - Formulário 6.3	109
Figura 127 - Formulário 6.4	109
Figura 128 - Formulário 6.5	110
Figura 129 - Formulário 6.6	110
Figura 130 - Formulário 6.7	111
Figura 131 - Formulário 6.8	111
Figura 132 - Formulário 6.9	112
Figura 133 - Formulário 6.10	112
Figura 134 - Formulário 6.11	113
Figura 135 - Formulário 6.12	113
Figura 136 - Formulário 6.13	114
Figura 137 - Formulário 6.14	114
Figura 138 - Formulário 6.15	115
Figura 139 - Formulário 6.16	116
Figura 140 - Formulário 6.17	116
Figura 141 - Formulário 6.18	117
Figura 142 - Formulário 6.19	118

Figura 143 - Formulário 6.20	118
Figura 144 - Formulário 7.1	119
Figura 145 - Formulário 7.2	119
Figura 146 - Formulário 7.3	120
Figura 147 - Formulário 7.4	120
Figura 148 - Formulário 7.5	121
Figura 149 - Formulário 7.6	122
Figura 150 - Formulário 7.7	122
Figura 151 - Formulário 7.8	123
Figura 152 - Formulário 7.9	124
Figura 153 - Formulário 7.10	125
Figura 154 - Formulário 7.11	125
Figura 155 - Formulário 7.12	126
Figura 156 - Formulário 7.13	126
Figura 157 - Formulário 7.14	127
Figura 158 - Formulário 7.15	127
Figura 159 - Formulário 7.16	128
Figura 160 - Formulário 7.17	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das aulas	5
Quadro 2 – Intervalos acústicos	30
Quadro 3 – Escala de dó	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 QUADRO DE RESUMO DAS AULAS.....	7
3 PLANOS DE AULA.....	9
3. 1 MOMENTO 1: ONDAS	9
3. 2 MOMENTO 2: ONDAS SONORAS.....	10
3. 3 MOMENTO 3: QUALIDADES DO SOM.....	11
3. 4 MOMENTO 4: FENÔMENOS SONOROS	12
3. 5 MOMENTO 5: INSTRUMENTOS MUSICAIS	13
3. 6 MOMENTO 6: AVALIAÇÃO	14
4 CADERNO DO ALUNO	15
5 MATERIAIS UTILIZADOS NA APLICAÇÃO.....	58
5. 1 MOMENTO 1: ONDAS (REMOTO).....	58
5. 2 MOMENTO 2: ONDAS SONORAS (REMOTO)	80
5. 3 MOMENTO 3: QUALIDADES DO SOM (REMOTO)	87
5. 4 MOMENTO 4: FENÔMENOS SONOROS (REMOTO).....	107
5. 5 MOMENTO 5: INSTRUMENTOS MUSICAIS (PRESENCIAL)	129
5. 6 MOMENTO 6: AVALIAÇÃO (PRESENCIAL).....	129
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
REFERÊNCIAS	132

1 INTRODUÇÃO

Este produto educacional fornece as informações e os materiais necessários para aplicação de uma sequência didática para o ensino de ondas e acústica. Foi elaborado para a aplicação em uma turma de segundo ano do Ensino Médio de uma instituição de ensino público estadual de Santa Catarina, mas pode ser adaptado para diversas situações.

O capítulo 2 deste documento traz um quadro de resumo das aulas que fazem parte desta sequência de ensino, apresentadas no capítulo 3 e divididas em 6 planos de aula, com objetivos, conteúdos, recursos e metodologias.

Além disso, foi elaborado um “caderno do aluno”, no capítulo 4, onde encontram-se todas as atividades e textos a serem abordados ao longo das aulas. Tendo os alunos como público-alvo, esse caderno pode facilitar a aplicação e organização da sequência didática.

A primeira aplicação deste produto educacional se deu em meio a uma pandemia de coronavírus que obrigou os professores a migrarem para um regime de ensino especial não presencial. Por esse motivo, as aulas precisaram ser adaptadas. Elas foram publicadas semanalmente na plataforma “Google Sala de Aula” e são compostas por aulas síncronas e atividades assíncronas, utilizando principalmente o “google formulários”.

Os materiais usados na aplicação são apresentados no capítulo 5. Dentre eles estão os links de acesso às apresentações de slides utilizadas nas aulas síncronas e às ferramentas tecnológicas utilizadas, bem como as imagens das atividades assíncronas em formato de formulários.

2 QUADRO DE RESUMO DAS AULAS

Quadro 1 – Resumo das aulas

	Aulas	Descrição
1º Momento	01	<ul style="list-style-type: none"> • Construção individual de um diagrama (mapa conceitual) sobre ondas; • Construção de um diagrama na lousa, com toda a turma; • Discussão e comentários sobre o tema.
	02	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade prática sobre formas de propagação de ondas, com mola slinky; • Discussão sobre as observações e resultados do experimento;
	03	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada utilizando slides, sobre a natureza de ondas, formas de propagação e as características de uma onda periódica; • Exemplo de aplicação.
	04	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade com simulação computacional sobre características de uma onda periódica.
	05	<ul style="list-style-type: none"> • Correção e discussão das atividades feitas anteriormente; • Resolução de alguns problemas práticos e questões teóricas;
2º Momento	06	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário individual utilizando <i>Plickers</i>; • Socialização das respostas;
	07	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade prática em grupos: telefone com fio; • Discussão dos resultados;
	08	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada utilizando slides, sobre ondas sonoras; • Questões para pesquisar e responder em grupos; • Correção e discussão das respostas;
3º Momento	09	<ul style="list-style-type: none"> • Problematização: diferentes sons em instrumentos musicais; • Introdução do conceito de altura sonora; • Exploração de um aplicativo para gerar diferentes frequências;
	10	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação da pesquisa sobre as aplicações do infrassom e do ultrassom; • Aula expositiva dialogada utilizando slides, sobre a física da música;
	11	<ul style="list-style-type: none"> • Problematizações sobre intensidade sonora; • Aula expositiva dialogada utilizando slides, sobre o conceito de intensidade e nível sonoro;
	12	<ul style="list-style-type: none"> • Problematização: Qual instrumento está sendo tocado? • Explicação do conceito de timbre sonoro.;
4º Momento	13	<ul style="list-style-type: none"> • Problematizações sobre o fenômeno de reflexão sonora; • Aula expositiva dialogada utilizando slides, sobre reflexão sonora;
	14	<ul style="list-style-type: none"> • Resolução de uma lista de exercícios; • Correção e discussão da lista de exercícios;
	15	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada utilizando slides, vídeos, simulações e animações, sobre efeito doppler.
	16	<ul style="list-style-type: none"> • Problematização sobre ressonância sonora; • Explicação do fenômeno da ressonância; • Demonstração experimental e discussão;

5º Momento	17	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade prática sobre instrumentos de cordas (violão);
	18	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade prática sobre instrumentos de tubos (flauta pã);
	19	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão e explicação dos resultados e demonstrações experimentais; • Explicação dos conteúdos de: ondas estacionárias, ondas em cordas (fórmula de Taylor), modos de vibração em cordas e tubos;
6º momento	21	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação individual sem consulta;

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

3 PLANOS DE AULA

3.1 MOMENTO 1: ONDAS

Duração: 5 aulas de 45min.

Objetivos:

- Levantar uma problematização inicial para a observação dos conhecimentos prévios.
- Discutir as ideias iniciais dos alunos;
- Problematizar o conceito por meio de uma atividade experimental;
- Explicar o conteúdo de forma dialogada.

Conteúdo abordado:

- Conceito de onda, natureza (mecânica e eletromagnética) e formas de propagação (transversal e longitudinal).
- Ondas periódicas: cristas, vales, amplitude, comprimento de onda, frequência, período e velocidade de propagação.

Recursos:

- Lousa e marcador;
- Molas Slinky (mola maluca);
- Projetor para apresentações de slides;
- Computadores com acesso à internet.

Metodologia:

1. Construção de um diagrama (que pode ser um mapa conceitual) sobre ondas. Nele, o aluno poderá se expressar livremente, destacando as palavras que surgem em sua mente, associadas ao tema.
2. Construção de um mapa conceitual em conjunto, em que os alunos poderão discutir suas concepções iniciais sobre o tema proposto.

3. Para problematizar o conceito de onda, dividir a turma em grupos, cada grupo receberá uma mola slinky para a realização de uma atividade prática para simular as formas de propagação e refletir sobre as características do movimento.
4. Discussão com a turma a respeito dos resultados do experimento e das observações feitas pelos alunos.
5. Explicar o conteúdo de forma expositiva dialogada, utilizando slides com imagens, vídeos e animações.
6. Resolver exemplos de aplicação do cálculo da velocidade de uma onda periódica.
7. Solicitar a realização de uma atividade com uma simulação computacional (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string).
8. Correção e discussão das atividades feitas anteriormente.
9. Resolução de alguns problemas práticos contextualizados e questões teóricas.

3.2 MOMENTO 2: ONDAS SONORAS

Duração: 3 aulas de 45min.

Objetivos:

- Fazer um questionário inicial para observar os conhecimentos prévios;
- Realizar uma atividade prática para problematizar o conceito;
- Explicar os conceitos de forma dialogada.

Conteúdo abordado:

- Ondas sonoras.

Recursos:

- Lousa e marcador;
- Smartphone com acesso à internet;
- Materiais para o experimento: copos descartáveis, barbante, prego, alicate e vela

Metodologia:

1. Distribuir placas de QR code impressas para os alunos e realizar um questionário inicial, utilizando a ferramenta *Plickers* (<https://get.plickers.com/>).

2. Discutir as respostas iniciais dos alunos com base no conhecimento prévio.
3. Para problematizar o conceito de ondas sonoras e sua propagação, distribuir os materiais para a realização do experimento “telefone com fio”.
4. Discutir os resultados e explicar o conceito de onda sonora, como o som se propaga e qual sua velocidade em diferentes meios de propagação.
5. Solicitar uma pesquisa e discutir os resultados.

3.3 MOMENTO 3: QUALIDADES DO SOM

Duração: 4 aulas de 45min.

Objetivos:

- Levantar problematizações sobre as qualidades do som;
- Explicar os conceitos de forma dialogada;
- Explorar um aplicativo gerador de frequências;
- Contextualizar as diferentes frequências, como o ultrassom e o infrassom;
- Relacionar o conceito de altura sonora com elementos da música;
- Discutir nível sonoro e poluição sonora.

Conteúdo abordado:

- Qualidades do som: altura, intensidade e timbre.
- Ultrassom e infrassom;
- Física da música: notas musicais, intervalo acústico, escalas e tons.
- Nível sonoro e poluição sonora.

Recursos:

- Lousa e marcador;
- Projetor para apresentações de slides;
- Smartphone com acesso à internet;
- Dois instrumentos musicais diferentes (ex. Flauta e violão);

Metodologia:

- Levantar a problematização dos diferentes sons em instrumentos musicais. A partir do diálogo com os alunos, introduzir o conceito de altura sonora;
- Discutir as diferentes frequências por meio da exploração de um aplicativo gerador de frequências;
- Solicitar uma pesquisa sobre as aplicações do infrassom e do ultrassom e discutir os resultados;
- Relacionar o conceito de altura sonora com elementos musicais, por meio de uma apresentação de slides.
- Levantar problematizações sobre intensidade sonora e nível sonoro e, partindo das discussões, explicar os conceitos utilizando slides.
- Levantar mais uma problematização sobre o timbre dos instrumentos musicais e explicar o conceito com base nas discussões.

3. 4 MOMENTO 4: FENÔMENOS SONOROS

Duração: 4 aulas de 45min.

Objetivos:

- Levantar problematizações sobre os fenômenos;
- Explicar de forma dialogada com demonstrações;
- Contextualizar com o cotidiano do aluno.

Conteúdo abordado:

- Fenômenos sonoros: reflexão, efeito doppler e ressonância.

Recursos:

- Lousa e marcador;
- Projetor para apresentações de slides;
- Material para demonstração experimental da ressonância: 02 diapasões.

Metodologia:

- Levantar problematizações sobre a reflexão sonora por meio de imagens e, a partir da discussão, explicar o fenômeno de forma expositiva dialogada.

- Contextualizar com o cotidiano, resolver exemplos e exercícios de aplicação.
- Explicar o efeito doppler, de forma expositiva e dialogada utilizando slides, vídeos, simulações e animações.
- Problematizar a ressonância sonora, explicar o fenômeno e fazer uma demonstração experimental.

3.5 MOMENTO 5: INSTRUMENTOS MUSICAIS

Duração: 4 aulas de 45min.

Objetivos:

- Levantar problematizações sobre os fenômenos;
- Explicar de forma dialogada com demonstrações;
- Contextualizar com o cotidiano do aluno.

Conteúdo abordado:

- Fenômenos sonoros: reflexão, efeito doppler e ressonância.

Recursos:

- Violões;
- Materiais para atividade prática de tubos: canos de PVC (20mm), cola quente, rolinhos, estilete, fitas adesivas e outros materiais de papelaria.
- Projetor para apresentações de slides;

Metodologia:

- Dividir a turma em grupos para a realização da atividade prática sobre instrumentos de cordas (violão);
- Ainda em grupos, distribuir os materiais para a realização da atividade prática sobre instrumentos de tubos (flauta pã);
- Discussão e explicação dos resultados e do conteúdo, por meio de slides e demonstrações experimentais.

3. 6 MOMENTO 6: AVALIAÇÃO

Duração: 4 aulas de 45min.

Objetivos:

- Observar a captação de significados e a compreensão dos conceitos.

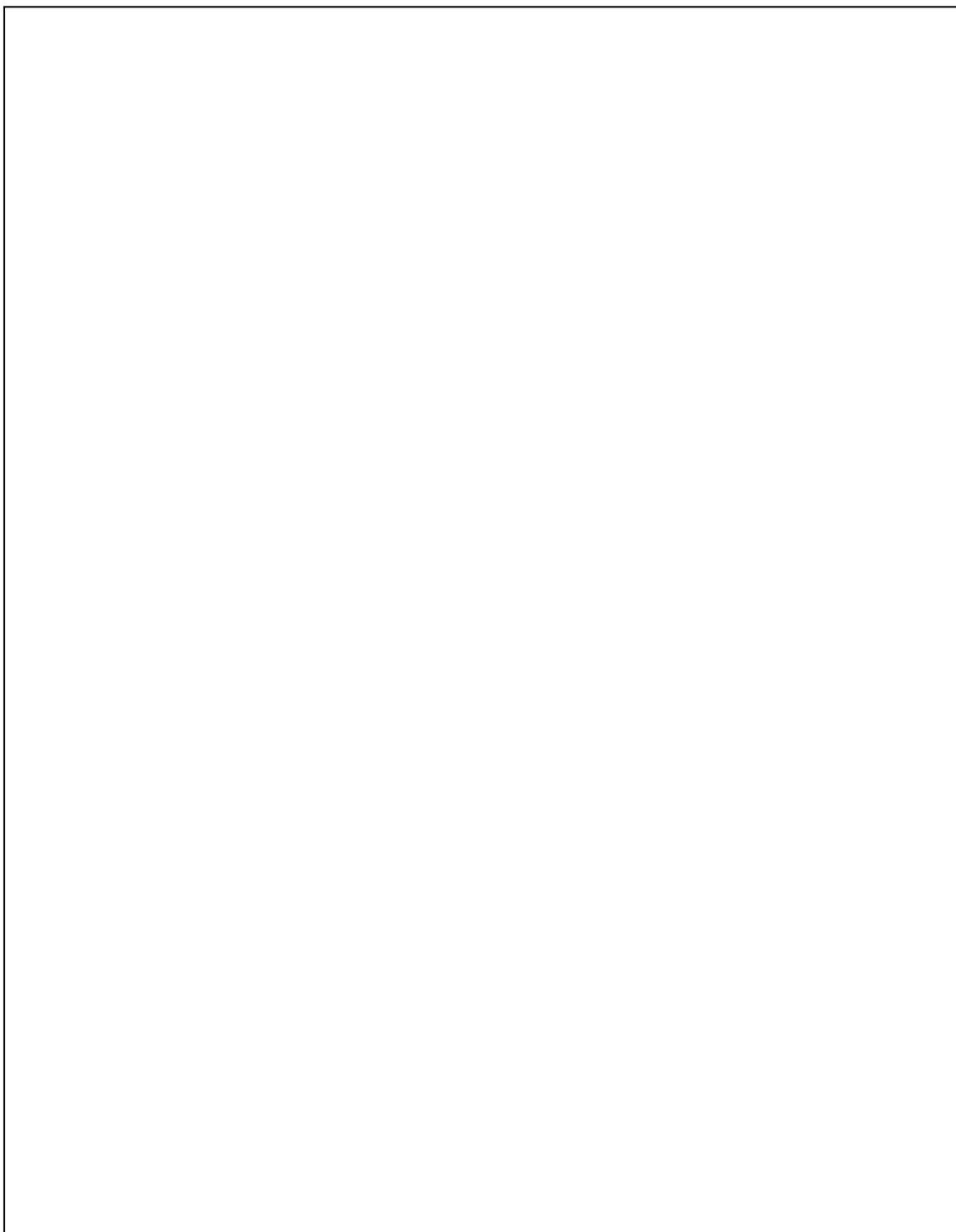
Metodologia:

- Solicitar a realização de uma prova individual, com questões discursivas teóricas e numéricas e uma avaliação das aulas, na qual o aluno poderá demonstrar suas opiniões, críticas e comentários, individualmente e anonimamente sobre suas experiências, seu aprendizado e sua motivação durante as aulas.

4 CADERNO DO ALUNO

1. ONDULATÓRIA

Ondulatória é a parte da Física que estuda ondas. Mas você sabe o que são ondas? No espaço abaixo, monte um diagrama, que pode ser um mapa conceitual ou um mapa mental sobre esse tema. Desenhe no seu diagrama tudo que você pensa estar relacionado às ondas!



2. ATIVIDADE PRÁTICA: PROPAGAÇÃO DE ONDAS

Objetivos:

- Conceituar pulso e onda;
- Compreender a diferença entre ondas transversais e longitudinais.

Problema: O que é uma onda?

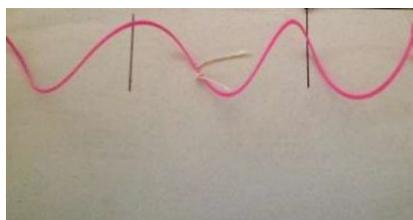
Materiais:

- 01 mola maluca;
- 01 folha branca A4;
- 10cm de barbante.

Procedimento experimental:

1. Fixe a folha no chão da sala.
2. Amarre o pedaço de barbante no meio da mola.
3. Com uma pessoa segurando em cada extremidade, estique a mola. Posicione o barbante no meio da folha e faça dois traços perpendiculares, a qual o barbante deverá estar entre os traços.

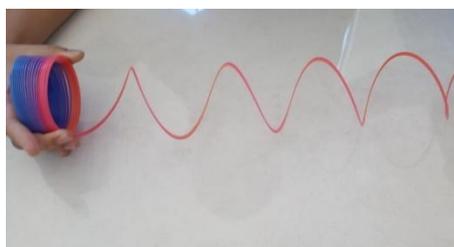
Figura 1 - Propagação de ondas I



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

4. Fixe uma ponta, e faça pulsos na outra ponta, ou seja, desloque a sua mão a aproximadamente 5 cm da mola, comprima até sua extremidade e solte.

Figura 2 – Propagação de ondas II



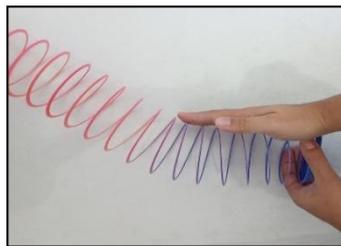
Fonte: Elaborado pela autora (2020)

5. Que tipo de movimento o barbante preso à mola está realizando?
-
-

6. Repita o procedimento “4”, fazendo interruptamente uma sucessão de pulsos (Movimente uma das extremidades da mola para frente e para trás) e desenhe os resultados obtidos nos itens 4 e 5 no espaço abaixo.

7. Agora, com a corda esticada e uma das pontas fixas, dê batidas do lado da corda (por exemplo, da direita para a esquerda).

Figura 3 – Propagação de ondas III



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

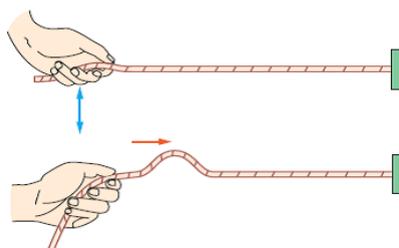
8. Que tipo de movimento o barbante preso à mola está realizando?

9. Repita o procedimento “7” fazendo interruptamente uma sucessão de pulsos (Movimente uma das extremidades da mola para direita e para a esquerda) e desenhe os resultados obtidos nos itens 7 e 8 no espaço abaixo.

3. ONDAS

“Uma onda é uma perturbação que se propaga, transportando energia sem o transporte de matéria”.

Figura 4 - pulso



Fonte: disponível em <http://fisicacontextoaplicacoes.blogspot.com/2017/08/reflexao-de-pulsos.html>.

Acesso em jan. 2022.

Imagine que você está segurando uma corda. Ao sacudi-la para cima, será possível criar uma perturbação, que se chama pulso. Quando este pulso se propaga, temos uma onda.

Quando uma pedra cai na superfície de um lago, se forma um pulso, que se propaga na forma de uma onda circular. Se algum objeto estiver na superfície do lago, não será transportado, mas oscilará para cima e para baixo, pois a onda lhe cederá energia.

Figura 5 – Onda no lago



Fonte: disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-classificacao-das-ondas.htm>. Acesso em jan.

2022.

Uma onda pode ser classificada quanto à sua natureza e sua forma de propagação.

Natureza das ondas

- *Ondas mecânicas*: São perturbações que se propagam em um meio material, por vibrações de partículas. São exemplos, o som, os terremotos, ondas em cordas, em

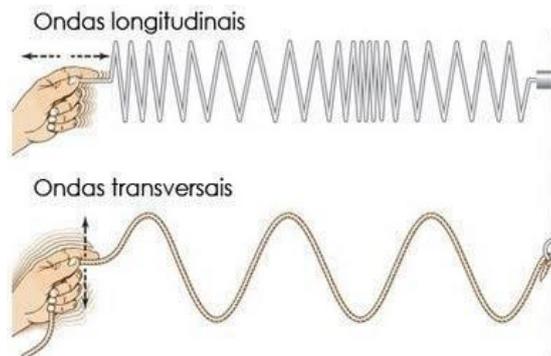
lagos, em molas, etc. Como as ondas mecânicas necessitam de um meio material para sua propagação, elas não se propagam no vácuo.

- *Ondas eletromagnéticas*: São causadas por variações nos campos elétrico e magnético, originadas por cargas oscilantes. São exemplos, as ondas de rádio, micro-ondas, raios X, ultravioleta, luz visível, etc. As ondas eletromagnéticas não necessitam, obrigatoriamente, de um meio material para sua propagação, por isso podem se propagar no vácuo.

Formas de propagação

- *Ondas transversais*: São aquelas em que a direção de propagação da onda é perpendicular à direção de vibração. São exemplos as ondas numa corda e as ondas eletromagnéticas.
- *Ondas longitudinais*: São aquelas em que a direção de propagação da onda coincide com a direção de vibração. O som é um exemplo.

Figura 6 – Formas de propagação das ondas



Fonte: disponível em <http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html>. Acesso em jan. 2022.

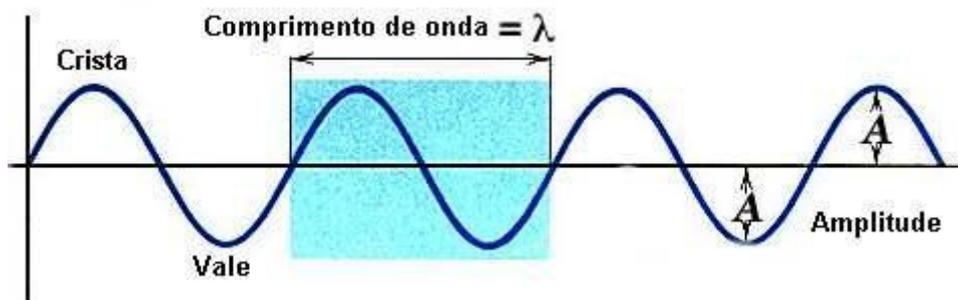
Observe alguns tipos de ondas na simulação:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/waves-intro

4. ONDAS PERIÓDICAS

Quando um pulso se repete em intervalos regulares, tem-se uma onda periódica. O formato das ondas individuais se repete em tempos iguais.

Figura 7 – Ondas periódicas



Fonte: disponível em <http://www.geocities.ws/saladefisica8/ondas/periodicas.html>. Acesso em jan. 2022.

Nas ondas periódicas, destacamos alguns elementos importantes:

- *Amplitude da onda (A)* - É a medida da altura máxima da onda, também chamada de crista (extremo superior) ou vale (extremo inferior).

$$[A] = \text{m (metro)}$$

- *Comprimento de onda (λ)* – É a distância entre o começo e o fim de uma oscilação, o tamanho de cada repetição, ou a distância entre duas cristas/vales.

$$[\lambda] = \text{m (metro)}$$

- *Período (T)* – Intervalo de tempo de uma oscilação completa de qualquer ponto da onda.

$$[T] = \text{s (segundo)}$$

- *Frequência (f)* - É o número de oscilações por segundo, determinada pela fonte que origina a onda. Por definição, a frequência é o inverso do período:

$$f = \frac{1}{T} \quad [f] = \text{H (hertz)}$$

➤ *Velocidade de propagação (v)* – Distância que a onda avança por unidade de tempo.

Determinada pela equação:

$$v = \lambda f \quad [v] = \text{m/s}$$

Observação! Quanto mais próximas as moléculas estão em um meio, mais rápido as ondas mecânicas se propagam nele, ou seja, elas se propagam mais rápido em sólidos do que em líquidos e gases. O contrário acontece com as ondas eletromagnéticas, cuja maior velocidade é no vácuo, e menor em outros meios.

$$v(\text{vácuo}) = c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Exemplo: A figura abaixo representa uma onda periódica propagando-se na água (a onda está representada de perfil). A velocidade de propagação desta onda é de 40 m/s, e cada quadradinho possui 1 m de lado.

Figura 8 – Exemplo 1



Fonte: disponível em <http://seja-ead.com.br/2-ensino-medio/ava-ead-em/2-ano/05-fs/aula-presencial/aula-7.pdf>. Acesso em jan. 2022.

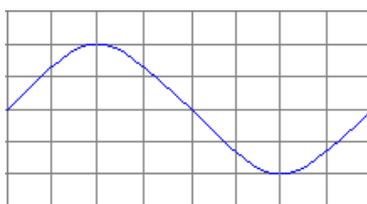
Determine:

- O comprimento de onda (λ) desta onda.
- A amplitude (A) desta onda.
- A frequência (f) da onda.
- O período (T) de oscilação do barquinho sobre a onda.

Resolução:

- Comprimento de onda é a distância de uma oscilação completa, ou seja, uma crista e um vale. Recortando da figura somente uma oscilação, temos:

Figura 9 – Recorte da figura 8



Fonte: disponível em <http://seja-ead.com.br/2-ensino-medio/ava-ead-em/2-ano/05-fs/aula-presencial/aula-7.pdf>. Acesso em jan. 2022.

Assim, podemos observar que o comprimento de onda corresponde a 8 quadradinhos e, como cada quadradinho possui 1m:

$$\lambda = 8m$$

b) A amplitude é o tamanho das cristas e dos vales. Podemos observar na figura que corresponde a dois quadradinhos, logo:

$$A = 2m$$

c) Sabemos que a velocidade da onda é $v = 40 \frac{m}{s}$ e que o comprimento de onda encontrado na letra (a) é $\lambda = 8 m$. Devemos utilizar a equação:

$$v = \lambda f$$

Isolando a frequência:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

Substituindo os valores:

$$f = \frac{40}{8}$$

$$f = 5 Hz$$

d) Como o período é o inverso da frequência, temos que:

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{5}$$

$$T = 0,2 s$$

5. ATIVIDADE EXPERIMENTAL: ONDAS EM UMA CORDA

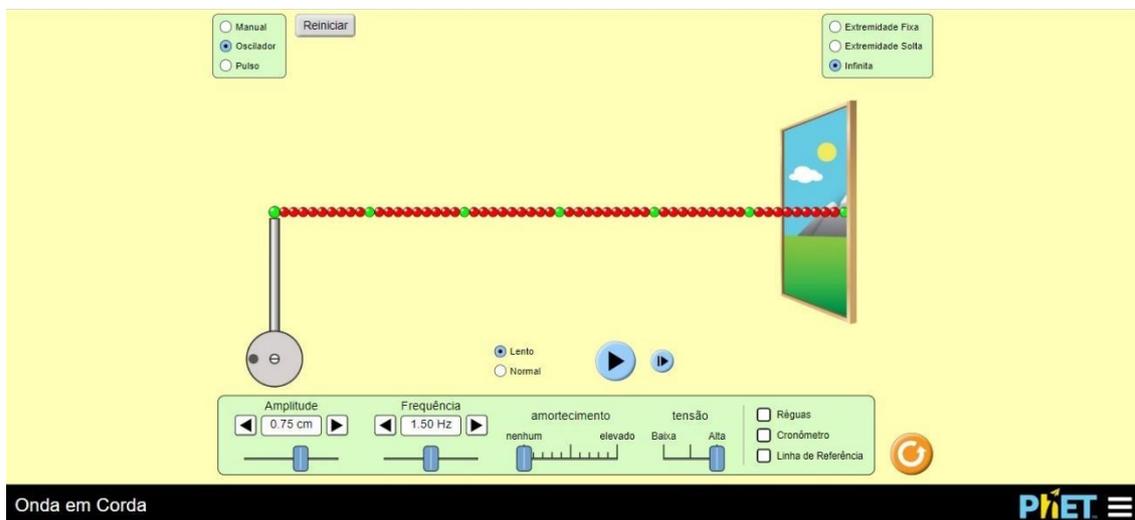
Objetivos:

- Identificar os componentes de uma onda periódica (cristas, vales, amplitude, comprimento de onda, frequência)
- Calcular a velocidade de propagação de uma onda.

Procedimentos:

1. Acesse a simulação: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string
2. Na caixa à esquerda: selecione oscilador. Na caixa à direita: selecione infinita. Na caixa inferior: retire o amortecimento (não altere as outras opções). Como na figura abaixo.

Figura 10 – Simulação “PHET”



Fonte: elaborado pela autora (2020)

3. Inicie a simulação, clicando no play. Espere alguns segundos. Pause o oscilador quando o primeiro ponto verde estiver sob a linha tracejada.
4. Quantas cristas e quantos vales possui essa onda (antes da janela)?
Cristas: _____ *Vales:* _____
5. Desenhe abaixo o que você está vendo.

6. Pegue a régua e meça ao comprimento de onda. Faça uma mudança de unidades para o SI.

7. Calcule a velocidade desta onda.

8. Altere a frequência para 3,00 Hz. você observou alguma mudança? Se sim, Qual? Explique porquê.

9. Meça o novo comprimento de onda, responda em metros.

10. Quantas cristas e quantos vales essa nova onda possui?

Cristas: _____ *Vales:* _____

11. Calcule a velocidade desta onda.

12. Compare o valor com o valor da velocidade calculado anteriormente. Comente.

16. LISTA DE EXERCÍCIOS 1

1. (UPE) Nas últimas décadas, o cinema tem produzido inúmeros filmes de ficção científica com cenas de guerras espaciais, como *Guerra nas Estrelas*. Com exceção de *2001, Uma Odisséia no Espaço*, essas cenas apresentam explosões com estrondos impressionantes, além de efeitos luminosos espetaculares, tudo isso no espaço interplanetário.

a. Comparando *Guerra nas Estrelas*, que apresenta efeitos sonoros de explosão, com *2001, uma odisséia no Espaço*, que não os apresenta, qual deles não está de acordo com as leis da Física? Explique sua resposta com suas palavras.

b. E quanto aos efeitos luminosos apresentados por ambos, estão de acordo com as leis Físicas? Justifique.

2. Sobre as ondas, assinale V (verdadeiro) ou F (falso) e justifique as falsas:

a. A velocidade de uma onda em uma corda depende das características mecânicas em que se encontra a corda.

b. O som é um exemplo de onda mecânica transversal.

c. A velocidade de uma onda é igual ao produto do comprimento de onda pela sua frequência.

d. Luz e som são ondas que apresentam, em comum, a característica de se propagarem em qualquer meio.

e. Numa onda transversal a direção de propagação e a direção da perturbação são paralelas

3. Considere uma pessoa batendo periodicamente em um ponto da superfície de um líquido. Uma onda passa a se propagar nessa superfície. Julgue as afirmativas em verdadeiras (V) ou falsas (F):

a. A velocidade de propagação (v) da onda na superfície de um líquido depende do meio. Assim, em líquidos diferentes (água, óleo etc.) teremos velocidades de propagação diferentes.

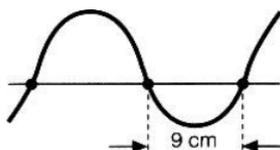
b. A distância entre duas cristas sucessivas é o comprimento de onda.

c. A frequência (f) da onda é igual à frequência da fonte que deu origem à onda.

d. As grandezas v , f e λ estão relacionadas pela equação $\lambda = v/f$ e, portanto, como v é constante para um dado meio, quanto maior for f , menor será o valor de λ neste meio.

4. Uma onda se propaga ao longo de uma corda com frequência de 30 Hz, conforme a figura abaixo. Nessas condições, qual sua velocidade e comprimento de onda?

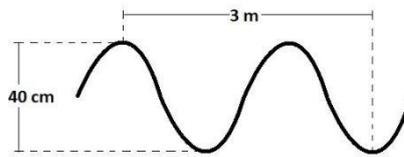
Figura 11 – questão 3



Fonte: disponível em https://loucoporfisica.webnode.com/_files/200000042-25d9f26d47/Conceito-de-onda.154.189.pdf. Acesso em jan. 2022.

5. A figura mostra um trecho de uma onda que se propaga em um fio esticado. A fonte que gera a onda opera com frequência de 20 Hz.

Figura 12 – questão 5



Fonte: elaborada pela autora (2020)

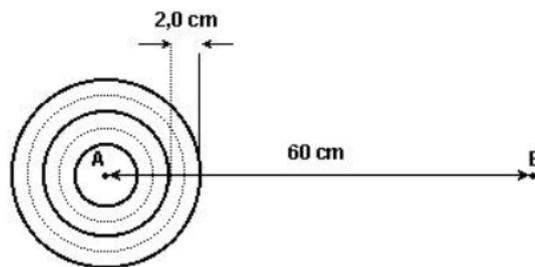
Determine:

- a amplitude da onda;
- seu comprimento de onda;
- a velocidade de propagação da onda no fio.

Desafios:

7. (UFPE) A figura abaixo mostra um aparelho no ponto O que produz ondas de 2 Hz em um lago.

Figura 13 – questão 7



Fonte: disponível em <http://tudodeconcursosevestibulares.blogspot.com/2014/05/questoes-resolvidas-sobre-ondas.html>. Acesso em jan. 2022.

As linhas cheias são as cristas das ondas geradas. A 20 cm distantes do aparelho há um objeto boiando. Qual o tempo necessário para que uma onda criada em O chegue até o objeto?

8. João está em uma extremidade de uma piscina de 6 m que possui profundidade constante, na outra extremidade, sua irmã mais nova está sentada na beira da piscina e começa a bater seus pés 30 vezes por minuto constantemente. João observa que:

- A cada batida dos pés de sua irmã, é gerado uma onda;
- Essa onda demora 24 s para chegar até ele do outro lado da piscina.

Considerando essas observações, qual o comprimento de onda das ondas formadas na piscina?

ACÚSTICA

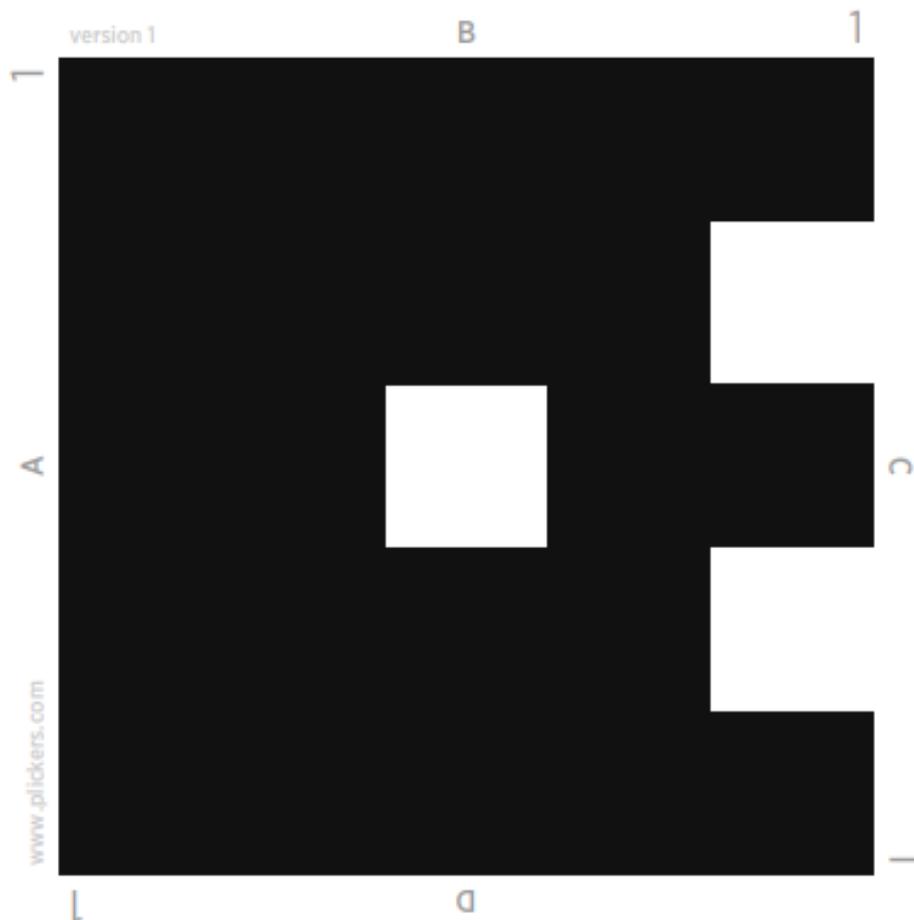
A Acústica é o ramo da Física que estuda o som e suas propriedades. Você sabe o que é o som?

Vamos responder um questionário para descobrir o quanto sabemos sobre o som!

Questionário inicial

- A professora irá mostrar a pergunta;
- Escolha sua alternativa;
- Levante o cartão abaixo para responder:
 - Observe a letra escolhida;
 - Procure nos lados do cartão;
 - Mostre o cartão de forma com que a letra fique em pé;
 - Exemplo, se a resposta for a letra B, levante o cartão desta forma:

Figura 14 – Código para leitura das respostas do questionário



Fonte: disponível em <https://get.plickers.com/>. Acesso em jan. 2022.

6. ATIVIDADE PRÁTICA: TELEFONE COM FIO

Objetivos:

- Conceituar ondas sonoras.
- Compreender a forma de propagação das ondas sonoras.

Problema: O que é o som? Como ele se propaga?

Materiais:

- 02 copos plásticos resistentes ou latas de alumínio.
- 4 a 5 metros de barbante.
- 01 prego.
- 01 alicate.

Procedimento experimental:

1. Segure o prego com o alicate e aqueça em uma chama de uma vela por cerca de 1 minuto.
2. Com o prego quente, faça um furo no fundo de cada um dos copos.
3. Coloque em cada furo uma das extremidades do barbante. Dê vários nós na ponta do barbante para que ele não escape do furo ao ser esticado.
4. Peça a um colega colocar um dos copos no ouvido, estique o barbante e fale no outro copo. O que você observou?

5. Tente fazer o mesmo, mas sem esticar o barbante. O que você observou? Explique com suas palavras porque isso aconteceu.

6. Tente fazer o mesmo procedimento 4, mas coloque o dedo no barbante (segurando-o). O que você observou? Explique com suas palavras porque isso aconteceu.

7. Tente explicar: como o som é formado?

8. Você fala em um dos copos e seu colega te ouve no outro copo. Tente explicar como ocorre a propagação do som, desde a saída do som da sua boca, até a percepção do som pelo seu colega.

9. ONDAS SONORAS

São ondas longitudinais de pressão, que se propagam no ar ou em outros meios. Ocorre quando se vibra algum material, por exemplo, um tubo de ar, uma corda de violão ou um diafragma de um alto falante. A vibração é transmitida para as moléculas do meio, onde se originam regiões sucessivas de baixa e alta pressão.

Figura 15 – Ondas sonoras



Fonte: disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas-sonoras.htm>. Acesso em jan. 2022.

A velocidade das ondas sonoras depende da densidade do meio e da temperatura. No ar, o som se propaga com uma velocidade de aproximadamente 340 m/s.

Nos sólidos e líquidos, a velocidade do som é maior. Veja alguns exemplos na tabela:

Figura 16 – Velocidade do som

Sólidos	
Vidro (20 °C)	5130 m/s
Alumínio (20 °C)	5100 m/s
Líquidos	
Glicerina (25 °C)	1904 m/s
Água do mar (25 °C)	1533 m/s
Água (25 °C)	1493 m/s
Mercúrio (25 °C)	1450 m/s
Gases	
Hidrogênio (0 °C)	1286 m/s
Hélio (0 °C)	972 m/s
Ar (20 °C)	343 m/s
Ar (0 °C)	330 m/s

Fonte: disponível em <https://www.todamateria.com.br/velocidade-do-som/>. Acesso em jan. 2022.

Pense e pesquise:

1. Porque, quando em uma tempestade de raios, vemos primeiro o relâmpago (luz) para depois ouvir o trovão (som)?
2. Por que nossa voz fica diferente quando respiramos gás hélio?
3. O que é barreira do som? O que significa dizer que um avião rompeu a barreira de som?
4. Como ouvimos? Pesquise como funciona o nosso ouvido.

10. QUALIDADES FISIOLÓGICAS DO SOM

As ondas sonoras possuem todas as características das outras ondas, mas existem outras características que dependem da sensação que temos quando ouvimos. Elas são chamadas qualidades e são: altura, intensidade e timbre.

Altura

É a qualidade que nos permite diferenciar sons agudos e graves pela sua frequência:

Sons altos (agudos): ondas sonoras com frequência alta.

Sons baixos (graves): ondas sonoras com frequência baixa.

Baixe o Aplicativo a seguir e observe a diferença no som emitido em várias frequências.

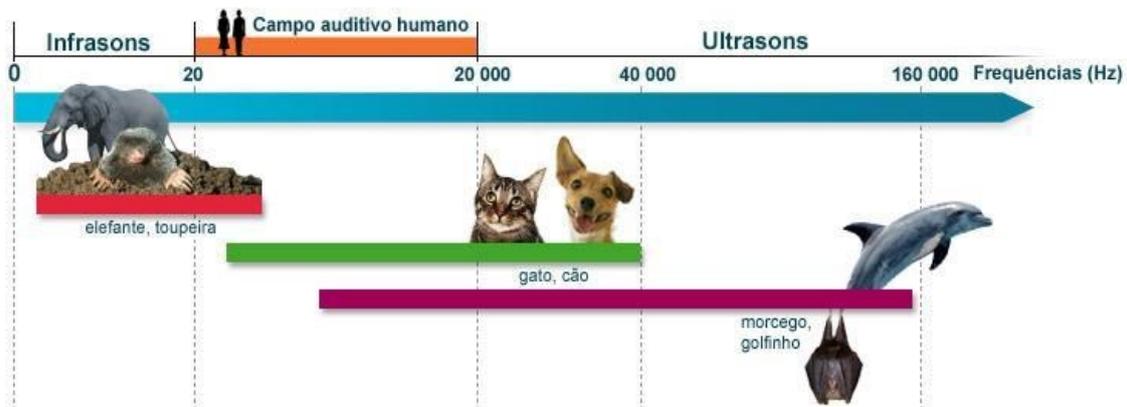
[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.boedec.hoel.frequencygenerator&hl=pt_B](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.boedec.hoel.frequencygenerator&hl=pt_BR)

[R](#)

➤ *Tipos de frequências*

O ouvido humano consegue captar vibrações com frequências compreendidas, aproximadamente, entre os 20 Hz e os 20.000 Hz, como podemos observar no espectro sonoro abaixo. Os sons com frequência inferior a 20 Hz são chamados de infrassons e os sons com frequência maior que 20.000 Hz são chamados ultrassons, esses sons podem ser captados por outros animais e são muito utilizados em aplicações tecnológicas.

Figura 17 - Espectro sonoro



Fonte: disponível em <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>. Acesso em jan. 2022.

Pense e pesquise:

1. Onde encontramos o ultrassom e o infrassom no dia a dia?
2. Cite e explique o funcionamento de, pelo menos, uma aplicação tecnológica de cada.

➤ *Música*

São quando as ondas sonoras emitidas possuem frequências em harmonia, produzindo uma sensação auditiva agradável. Essas frequências não são representadas por números (ex. 440 Hz), mas nomes próprios ou notas, por exemplo: DÓ, RÉ, MI, FÁ, SOL, LÁ, SI, DÓ..., que corresponde a uma escala.

Figura 18 – Notas musicais

Notas	Frequência (Hz)
dó	264
ré	297
mi	330
fá	352
sol	396
lá	440
si	495
dó	528

Fonte: disponível em <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/notas-escalas-musicais.htm>. Acesso em jan. 2022.

Uma escala musical é uma sequência ordenada de notas. Existem diversas escalas musicais, que são montadas de acordo com um intervalo acústico.

Intervalo acústico é a distância entre um som (frequência) e outro. Matematicamente, o intervalo é medido pela razão entre as frequências dos dois sons:

$$i = \frac{f_1}{f_2}$$

Na música, é dada uma nomenclatura para cada intervalo, como pode ser visto no quadro abaixo.

Quadro 2 – Intervalos acústicos

Intervalo Acústico	Razão de frequência
Unísono	1:1
Oitava	2:1
Quinta	3:2
Quarta	4:3
Terça maior	5:4
Terça menor	6:5
Sexta maior	5:3
Sexta menor	8:5
Tom maior (M)	9:8
Tom menor (m)	10:9
Semitom (s)	16:15

Fonte: elaborado pela autora (2020)

Quando o intervalo é igual a 2, significa que a frequência da nota f_1 é duas vezes maior que a frequência f_2 , logo, o som de f_1 é uma oitava maior que f_2 . As notas musicais de mesmo nome são separadas por um intervalo de uma oitava (2:1)

O quadro abaixo mostra a escala conhecida como dó maior e as frequências aproximadas das notas:

Quadro 3 – Escala de dó

Intervalo	<i>Tom</i>	<i>Tom</i>	<i>Semitom</i>	<i>Tom</i>	<i>Tom</i>	<i>Tom</i>	<i>Semitom</i>	
Escala de Dó maior	DÓ	RÉ	MI	FÁ	SOL	LÁ	SI	DÓ
Frequência (Hz)	264	297	330	352	396	440	495	528

Fonte: elaborado pela autora (2020)

Em qual volume você utiliza o fone de ouvido?

Será que volumes “altos” prejudicam a audição?

Se um som alto é um som agudo, que característica da onda determina o volume?

Intensidade

É a qualidade que nos permite diferenciar sons fortes e sons fracos, relacionada com a amplitude da onda sonora. Fisicamente, intensidade sonora é a energia transmitida pela onda por unidade de tempo e área. Sendo assim, temos

$$I = \frac{E}{A \cdot \Delta t}$$

mas $\frac{E}{\Delta t}$ é a potência sonora da onda, assim

$$I = \frac{P}{A}$$

No Sistema Internacional de Unidades, a intensidade sonora é medida em W/m² (watts por metro quadrado).

➤ *Limiar de audibilidade* – Menor intensidade sonora que pode ser ouvida.

$$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

➤ *Limiar de dor* – Maior intensidade suportável pelo ouvido humano.

$$I_{máx} = \frac{1 W}{m^2}$$

Na prática, utilizamos o conceito de **nível sonoro** (β), pois é construído em escala logarítmica, visto que a intensidade sonora não varia linearmente (se dobramos a intensidade, o som fica mais forte, porém não duas vezes mais intenso). Sendo I a intensidade do som que se quer medir e I_0 a intensidade mínima, o nível sonoro é dado por:

$$\beta = \log \frac{I}{I_0}$$

A unidade utilizada para o nível sonoro é o Bel (B), mas como esta unidade é grande comparada com a maioria dos valores de nível sonoro utilizados no cotidiano, seu múltiplo usual é o **decibel (dB)**, de maneira que 1 B = 10 dB. No esquema abaixo, pode ser observado o nível sonoro em diversas situações.

Baixe o Aplicativo a seguir:

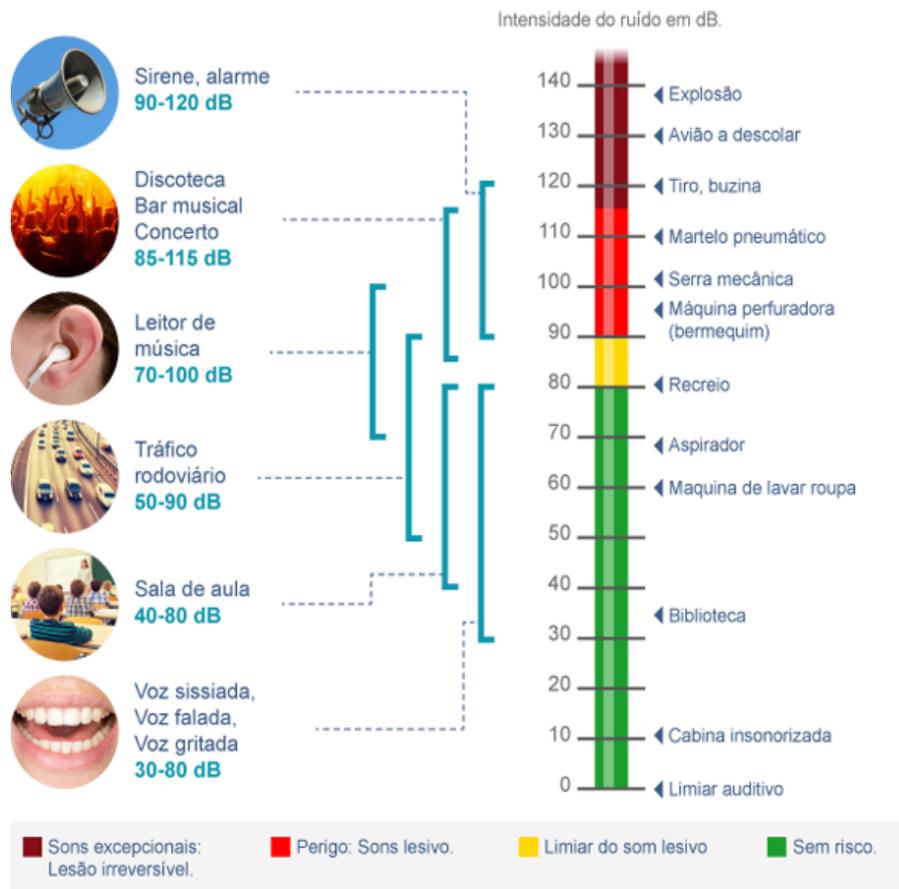
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.splendapps.decibel&hl=pt_BR

- Meça o nível sonoro em diferentes lugares. Comente e compare os valores obtidos por sua medição.

REPORTAGEM: EXPOSIÇÃO AO RUÍDO E PERIGO PARA O OUVIDO!

Disponível em: <http://www.cochlea.org/po/ruído>.

Figura 19 - Ruídos



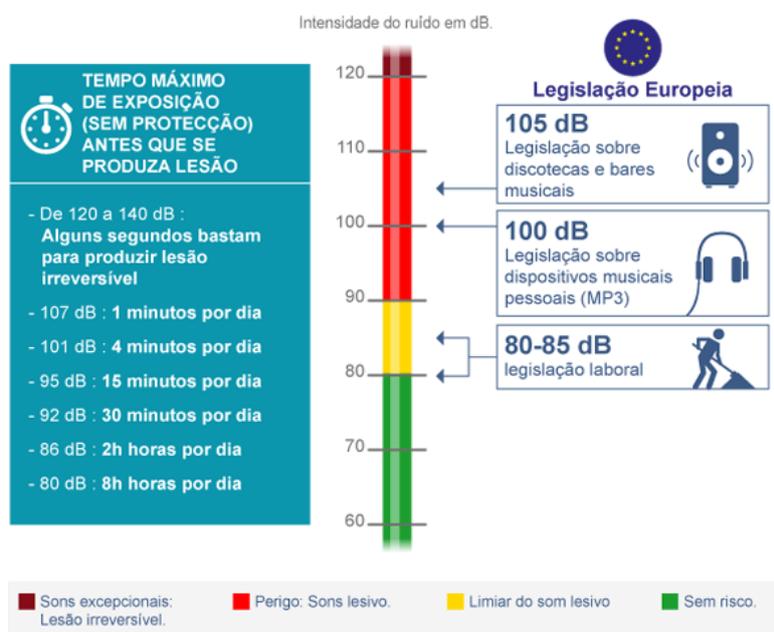
Fonte: disponível em <http://www.cochlea.org/po/ruído>. Acesso em mar. 2020.

De acordo com Camilleri e Trigueiros-Cunha (2017) “Esta escala de níveis sonoros (em dB) classifica os sons ambientais em 4 categorias:

- até aos 80 dB (verde), não há qualquer risco para o ouvido, qualquer que seja o tempo de exposição;
- de 80 a 90 dB (amarelo), aproximamo-nos da zona nociva, mas os riscos limitam-se a exposições de muito longa duração;
- de 90 a 115 dB (vermelho), o ouvido está em risco: Quanto mais forte o som, menor o tempo de exposição é necessário para provocar lesão

- *acima de 115 dB (castanho), os ruídos impulsivos provocam imediatamente lesões irreversíveis”.*

Figura 20 – Tempo máximo de exposição ao ruído



Fonte: disponível em <http://www.cochlea.org/po/ruído>. Acesso em mar. 2020.

Pense e pesquise:

1. Quais os problemas de saúde que os sons com grande intensidade podem trazer para os seres humanos?
2. O que é poluição sonora?
3. Quais são os responsáveis pela poluição sonora no dia a dia?
4. A poluição sonora pode afetar a saúde humana? Justifique.

Figura 21 – Instrumentos musicais



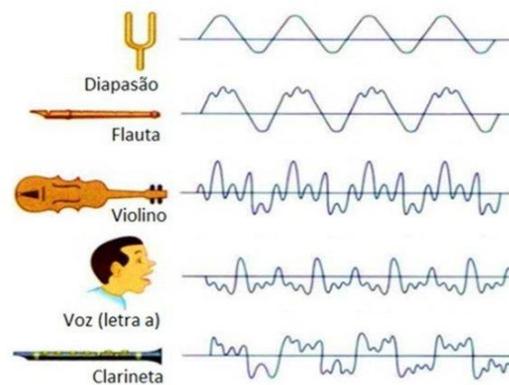
Fonte: disponível em <https://pixabay.com/pt/>. Acesso em fev. 2022.

Por que conseguimos diferenciar a mesma nota musical em dois instrumentos diferentes?

Timbre

É a qualidade que permite ao ouvido diferenciar sons de mesma altura e intensidade, emitidos por fontes diferentes. O timbre está relacionado ao formato da onda emitida, que é composto por uma composição de frequências diferentes.

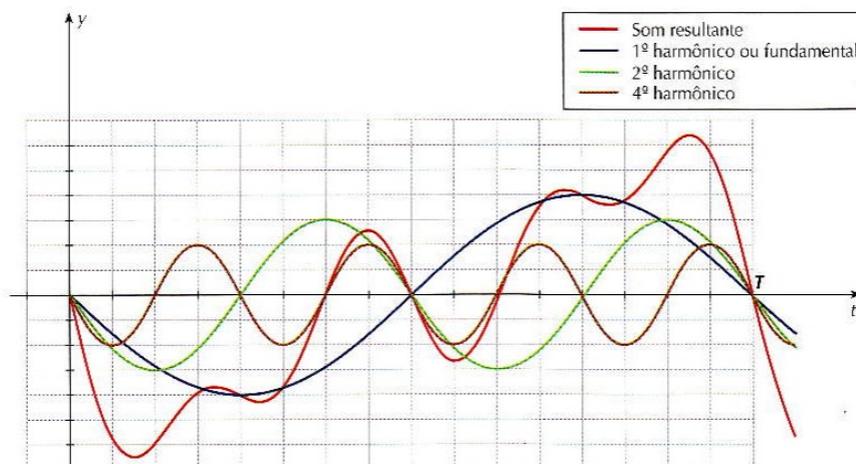
Figura 22 - Timbre



Fonte: disponível em <https://www.cienciarte.com.br/noticia-1467768453-timbre-a-ciencia-da-musica-em-nossos-ouvidos>. Acesso em jan. 2022.

As notas emitidas por um instrumento musical são formadas por um conjunto de frequências. Cada combinação diferente de frequências resulta em uma onda com formato específico.

Figura 23 - Harmônicos de uma onda sonora



Fonte: Ramalho, Nicolau e Toledo (1997)

Além disso, esta combinação de frequências também determina se o som é agradável ou não. Se as frequências que compõem a onda sonora são múltiplas umas das outras, então o som resultante produzirá uma sensação agradável. Assim, teremos uma frequência básica, que é chamada de tom fundamental, e as demais são múltiplos desta, chamadas de harmônicos.

Cada instrumento emite uma onda diferente, devido a diversos fatores, como o material de que é feito, sua forma e a força usada para produzir o som.

11. FENÔMENOS SONOROS: REFLEXÃO

Figura 24 – Fenômenos sonoros

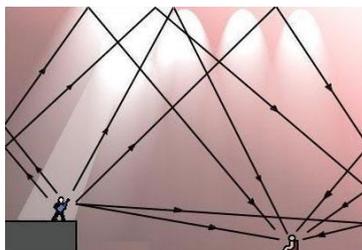


Fonte: disponível em <https://pixabay.com/pt/>. Acesso em jan. 2022.

O que essas imagens têm em comum?

Ao ser emitida, uma onda sonora tende a se propagar livremente em todas as direções. Quando o som encontra um obstáculo rígido, como uma parede, é refletido.

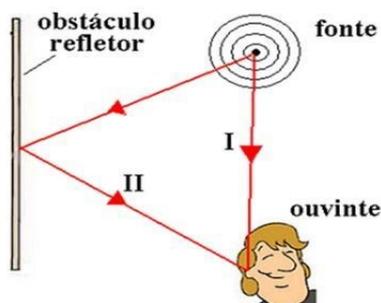
Figura 25 – Reflexões do som



Fonte: disponível em <https://www.clickestudante.com/reflexao-sonora.html>. Acesso em jan. 2022.

Quando ocorre a reflexão do som, podemos ter três impressões diferentes, dependendo do tempo decorrido entre a chegada do som original e do refletido: reforço, reverberação ou eco.

Figura 26 – Som direto e som refletido



Fonte: disponível em <https://www.preparaenem.com/fisica/reflexao-das-ondas-sonoras.htm>. Acesso em jan. 2022.

Na figura acima, podemos observar duas ondas sonoras que saem na mesma fonte: a onda I, que vai direto ao ouvinte; e a onda II, que é refletida por um obstáculo. Essas ondas são recebidas pelo ouvinte em instantes diferentes. Quando a diferença de tempo para as duas ondas chegarem ao ouvinte for menor que 0,1 s, seu cérebro não conseguirá reconhecê-las como dois sons diferentes. Esse tempo de 0,1 s é chamado de persistência auditiva.

- *Reforço*: ocorre quando o intervalo de tempo é desprezível, ou seja, o obstáculo está muito próximo do ouvinte, fazendo com que o som refletido chegue junto com o som direto. Assim, ambos se reforçam, dando a sensação de maior intensidade.
- *Reverberação*: ocorre quando o obstáculo se encontra distante do ouvinte, fazendo o som refletido chegar depois daquele que veio direto, provocando uma sensação de continuidade, principalmente no fim da duração de uma nota.
- *Eco*: ocorre quando o som refletido chega ao ouvinte com um intervalo de tempo superior a 0,1s após o som direto, assim a percepção de repetição da última parte é nítida e o ouvinte escuta dois sons distintos.

Exemplo 1: O menor intervalo de tempo para que o cérebro humano consiga distinguir dois sons que chegam ao ouvido é, em média, 0,1 s. Qual a menor distância que podemos

ficar de um obstáculo para ouvir o eco de nossa voz? (Dado a velocidade do som no ar 340 m/s)

Resolução: Para ouvir o eco de sua voz, você irá falar, o som irá percorrer uma distância D , atingir o obstáculo e voltar para o seu ouvido, em um intervalo de tempo de no mínimo 0,1 s. Assim, o som percorrerá uma distância de $2D$ (ida e volta) em um tempo de 0,1 s, ou seja,

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{2D}{\Delta t}$$
$$340 = \frac{2D}{0,1}$$
$$2D = 340 \times 0,1D = \frac{34}{2}$$
$$D = 17 \text{ m}$$

Exemplo 2: Um submarino é equipado com um aparelho denominado sonar, que emite ondas acústicas de frequência 4×10^4 Hz. A velocidade das ondas emitidas no ar e na água são, respectivamente, $3,70 \times 10^2$ m/s e $1,40 \times 10^3$ m/s. Esse submarino, quando em repouso na superfície, emite um sinal na direção vertical através do oceano e o eco é recebido após 0,80 s. Pergunta-se: Qual é a profundidade do oceano nesse local?

Resolução: O sinal foi emitido, foi até o fundo do oceano e voltou em 0,80 s. A velocidade do som na água é de 1400 m/s, assim, utilizando $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$, temos:

$$1400 = \frac{\Delta S}{0,8} \Delta S = 1400 \cdot 0,8 = 1120 \text{ m}$$

Esse valor refere-se ao percurso de ida e volta, assim, a profundidade nesse local é de 560 m.

Exemplo 3: Determine o tempo, em segundos, decorrido entre o instante da emissão de uma onda por um sonar de um navio e seu retorno após colidir com um submarino que se encontra a 290 m de profundidade. (Dado a velocidade do som no mar 1450 m/s)

Resolução: O som é emitido pelo sonar do navio, percorre 290 m até o submarino e volta por mais 290 m até o navio. Assim, a distância percorrida é de 580 m.

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$1450 = \frac{580}{\Delta t} \Delta t = \frac{580}{1450}$$
$$\Delta t = 0,4 \text{ s}$$

12. LISTA DE EXERCÍCIOS 2

1. Assinale o que for correto e **justifique** as incorretas:

- a) Ondas sonoras são ondas transversais.
- b) Ondas sonoras se propagam no vácuo com a velocidade da luz.
- c) O som não se propaga no vácuo, porque ele corresponde a uma onda transversal.
- d) Tanto o som como a luz se propagam no vácuo, pois ambos correspondem a ondas longitudinais.
- e) A luz se propaga no vácuo ao contrário do som que necessita de um meio material para a sua propagação.
- f) Um som grave é um som de baixa frequência
- g) O som propaga-se mais rapidamente no ar que nos sólidos.
- i) A altura é a qualidade que permite distinguir um som forte de um som fraco de mesma frequência.
- j) Intensidade é a qualidade que permite distinguir um som agudo de um som grave.
- k) Timbre é a qualidade que permite distinguir dois sons de mesma altura emitidos por fontes diferentes.

2. A que distância devemos estar de um obstáculo para que o eco de nossa voz chegue 0,5s após gritar? (Velocidade do som no ar: 340 m/s)

3. Você está a 68 metros de um paredão vertical bem alto. Se você gritar, em quanto tempo irá ouvir o eco da sua voz? (Velocidade do som no ar: 340 m/s)

4. O exame de ultrassom funciona quando um aparelho emite ondas sonoras que percorrem o corpo humano e seus ecos são utilizados para criar uma imagem. Suponha que a velocidade do som no corpo humano é de 1500 m/s, em um intervalo de 0,001 s, as ondas de ultrassom percorrem que distância?

5. (Cefet-PR - adaptada) Relacione a segunda coluna de acordo com o proposto na primeira coluna:

- (1) Reforço
- (2) Reverberação
- (3) Eco

- Fenômeno que permite ouvir isoladamente o mesmo som emitido e refletido.
- Som direto e som refletido chegam no mesmo instante.
- Percepção do som direto e do som refletido é inferior a 0,1 s.
- Fenômeno utilizado por morcegos que, emitindo e recebendo ultrassons, localizam insetos ou obstáculos.
- Fenômeno sonoro no qual a percepção de dois sons, direto e refletido, deve ser maior que 0,1 s.

6. Uma pessoa, 510 metros distante de um obstáculo refletor, dá um grito e ouve o eco de sua voz. A velocidade do som no ar é de 340 m/s. Qual o tempo gasto entre a emissão do som e o momento em que a pessoa ouve o eco, em segundos?

7. Uma pessoa em um balão em um dia calmo emite um som e ouve o eco depois de 2 s. Sabendo que a velocidade do som no ar é de aproximadamente 340 m/s, qual a altura que o balão está?

13. FENÔMENOS SONOROS: EFEITO DOPPLER

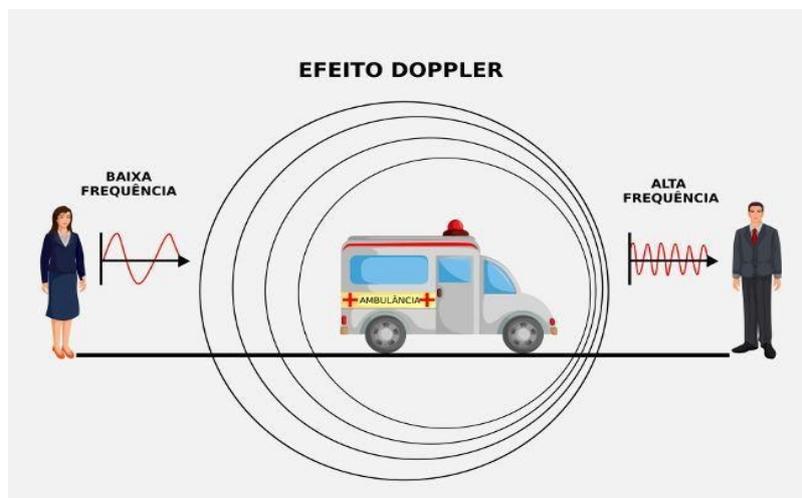
Assista os vídeos:

- <https://www.youtube.com/watch?v=Tj1GukWlxus>
- <https://www.youtube.com/watch?v=4jZC0PyQuEE>

O que você pode observar a respeito do som da sirene no segundo vídeo? Como você explicaria isso?

O Efeito Doppler ocorre quando ondas são emitidas por uma fonte em movimento em relação a um observador. Devido a esse fenômeno, observamos uma variação na frequência do som escutado. Quando o carro se aproxima do observador (lado direito da figura abaixo), a frequência das ondas na frente dele aumenta e o observador escuta o som mais agudo. O oposto ocorre quando o carro se afasta, ouvimos o som mais grave, pois a frequência das ondas diminui (lado esquerdo da figura).

Figura 27 - Efeito Doppler



Fonte: disponível em <https://www.infoescola.com/fisica/efeito-doppler/>. Acesso em jan. 2022.

O efeito Doppler é utilizado na medicina em exames de ultrassom no qual o elemento a ser visualizado está em movimento. Também é utilizado na astronomia para medir a velocidade com que os astros estão se afastando ou aproximando, por meio da observação da frequência da luz emitida por eles.

14. FENÔMENOS SONOROS: RESSONÂNCIA SONORA

Você já viu alguém quebrar uma taça somente com a voz?

Figura 28 - Ressonância



Fonte: disponível em <https://www.saberatualizado.com.br/2016/07/e-possivel-quebrar-uma-taca-de-vidro.html>. Acesso em jan. 2022.

Observe: <https://www.youtube.com/watch?v=dclQNcITjC4>

Como você acha que isso é possível?

O fenômeno que explica isso é chamado de ressonância. Isso acontece porque todos os materiais possuem pelo menos uma frequência natural de vibração, que é uma característica do material. Quando um material recebe energia em forma de oscilações com frequência próximas a sua frequência natural, ele começa a absorver essa energia e vibrar com amplitudes cada vez maiores, o que pode ocasionar o rompimento de sua estrutura.

“Um caso muito famoso deste fenômeno foi o rompimento da ponte Tacoma Narrows, nos Estados Unidos, em 7 de novembro de 1940. Em um determinado momento, o vento começou soprar com frequência igual à natural de oscilação da ponte, fazendo com que esta começasse a aumentar a amplitude de suas vibrações até que sua estrutura não pudesse mais suportar, fazendo com que sua estrutura rompesse” (fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/ressonancia.php>. Acesso em mar. 2020)

Observe você mesmo: <https://www.youtube.com/watch?v=mfQk6ac4res>

“O caso da ponte Tacoma Narrows pode ser considerado uma falha humana, já que o vento que soprava no dia 7 de Novembro de 1940 tinha uma frequência característica da região onde a ponte foi construída, logo os engenheiros responsáveis por sua construção falharam na análise das características naturais da região. Por isto, atualmente é feita uma análise profunda de todas as possíveis características que possam requerer uma alteração em uma construção civil”. (fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/ressonancia.php>. Acesso em mar. 2020)

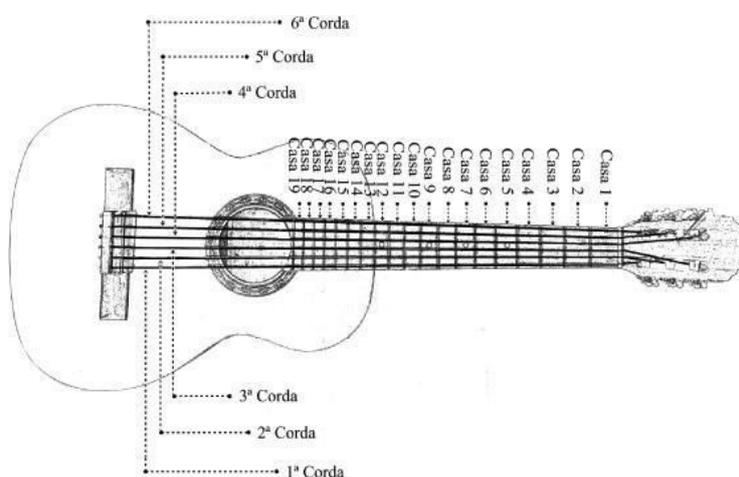
Podemos verificar o fenômeno da ressonância através de demonstrações experimentais, como as realizadas com diapasões e lâminas ressoantes. Observe essas demonstrações em sala de aula e responda:

1. Por que, ao vibrar um diapasão, o outro também começa a emitir som?

13. ATIVIDADE PRÁTICA: INSTRUMENTOS DE CORDAS

O violão é um instrumento de cordas, assim como o violino, violoncelo, viola, baixo, guitarra, entre outros. Quando vibramos as cordas, elas produzem ondas transversais que refletem nas extremidades e, após uma superposição de ondas, originam uma onda estacionária. Essas vibrações provocam compressões e rarefações no ar, são amplificadas no corpo do instrumento e chegam até os nossos ouvidos. O violão possui 6 cordas, sua estrutura pode ser vista na figura.

Figura 29 – Cordas do Violão



Fonte: disponível em https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Diagrama-de-um-violao-com-a-indicacao-das-casas-1-19-e-das-cordas-1-6_fig4_264970546. Acesso em jan. 2022.

Objetivo: compreender a física envolvida no violão.

1. Existe diferença entre as cordas no violão?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

- a. Descubra a frequência que cada corda emite. (se necessário, afine o instrumento - gire as cravelhas até o afinador indicar a nota correspondente).

Corda	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Nota	Mi	Si	Sol	Ré	Lá	Mi
f (Hz)						

b. O que você descobriu? Explique sua conclusão.

c. Quando afinamos, apertamos ou afrouxamos as cordas, o que muda no som?
Explique por que isso ocorre.

2. Como tocamos esse instrumento? Como se faz os acordes?

Escreva e explique sua hipótese inicial:

a. Descubra a nota obtida quando apertamos as casas:

Casa	2	4	6	8	10
Nota					
f (Hz)					

b. O que ocorre com o som à medida que pressionamos as cordas nas casas? Explique por que isso ocorre.

3. Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

14. ATIVIDADE PRÁTICA: INSTRUMENTOS DE TUBOS

Uma flauta pã é um instrumento formado por tubos com uma das extremidades fechada e outra aberta.

Figura 30 - Flauta pã



Fonte: disponível em <https://pixabay.com/pt/photos/flauta-pan-m%C3%BAsica-653495/>. Acesso em jan. 2022.

Objetivo: Construir uma flauta pã e compreender os conceitos envolvidos na produção de som.

Como construir uma flauta pã?

1. Com os materiais disponíveis, tente construir uma flauta pã. Escreva sua ideia, como você vai fazer?

2. Descubra quais as notas emitidas pelos tubos da sua flauta.

Nota	Dó(C)	Ré(D)	Mi(E)	Fá(F)	Sol(G)	Lá(A)	Si(B)
f(Hz)							
Tamanho (cm)							

3. Por que as notas obtidas são diferentes?

Conclusão – O que você aprendeu com essa atividade?

15. ONDAS NOS INSTRUMENTOS MUSICAIS

Ondas em instrumentos de cordas

Em um instrumento de cordas, como violão, violino, guitarra, etc., são formadas ondas estacionárias ao ser produzida uma vibração na corda. Essa onda se propaga com uma velocidade (v), que depende da tensão (T) na corda (força com a qual a corda é esticada) e da densidade linear de massa (μ), obtida dividindo-se a massa total da corda por seu comprimento total.

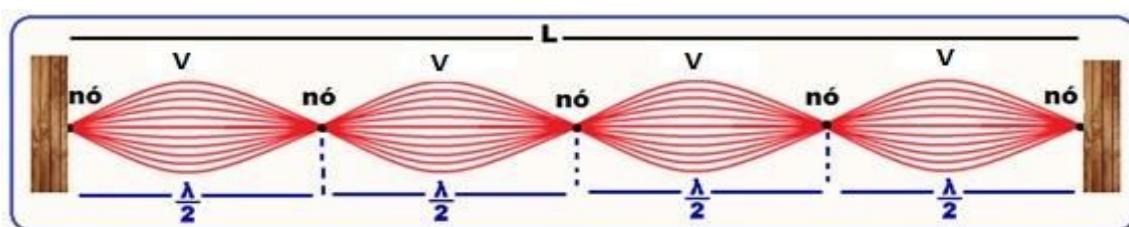
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Essa expressão é conhecida como *fórmula de Taylor*.

Modos de vibração (harmônicos) em cordas vibrantes

Considere uma corda de comprimento L fixa em suas extremidades. Ao produzir uma perturbação em qualquer ponto, ela se propaga até cada uma das extremidades, reflete e retorna em sentido contrário, formando ondas estacionárias.

Figura 31 – Modos de vibração



Fonte: disponível em <https://fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatória/acustica/cordas-vibrantes/>. Acesso em jan. 2022.

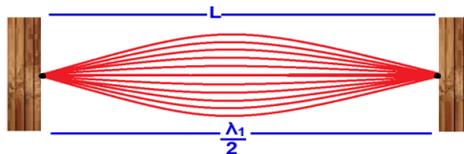
O comprimento da corda e a energia de vibração inicial determinam o comprimento de onda e a frequência da onda resultante. Observe que cada ventre é definido pela metade do comprimento de onda.

A onda estacionária de frequência mais baixa (frequência fundamental) corresponde a uma onda estacionária com um único ventre, chamada de harmônico

fundamental ou primeiro harmônico. As frequências seguintes são múltiplos inteiros da frequência fundamental, chamadas de sobretons ou 1º harmônico, 2º harmônico e assim por diante.

➤ *1º Harmônico – som fundamental*

Figura 32 – Cordas: primeiro harmônico



Fonte: disponível em <https://fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatória/acustica/cordas-vibrantes/>. Acesso em jan. 2022.

O comprimento de onda λ_1 tem metade do comprimento L da corda:

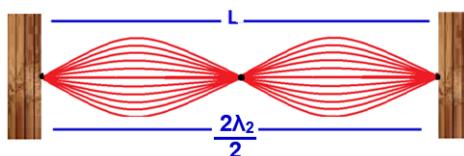
$$\frac{\lambda_1}{2} = L \rightarrow \lambda_1 = 2L$$

Lembrando que $v = \lambda \cdot f$

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

➤ *2º Harmônico*

Figura 33 – Cordas: segundo harmônico

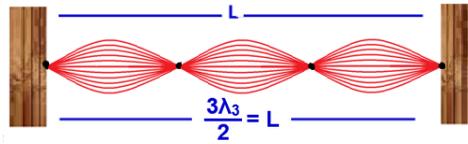


Fonte: disponível em <https://fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatória/acustica/cordas-vibrantes/>. Acesso em jan. 2022.

$$\frac{2\lambda_2}{2} = L \rightarrow \lambda_2 = \frac{2L}{2} f_2 = \frac{2v}{2L}$$

3º Harmônico

Figura 34 – Cordas: terceiro harmônico



Fonte: disponível em <https://fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatória/acustica/cordas-vibrantes/>. Acesso em jan. 2022.

$$\frac{3\lambda_3}{2} = L \rightarrow \lambda_3 = \frac{2L}{3} f_3 = \frac{3v}{2L}$$

➤ *Enésimo harmônico – Generalizando*

$$\frac{n\lambda_n}{2} = L \rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n} f_n = \frac{nv}{2L}$$

O número inteiro n é o grau do harmônico, ou seja, $n = 1$, para o harmônico fundamental; $n = 2$, para o segundo harmônico; $n = 3$, para o terceiro harmônico; e assim por diante.

$$n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$$

Assim, quanto maior a ordem (n) dos harmônicos, maior a frequência da nota musical (mais aguda), o que na música chamamos de **oitavas**.

Se substituirmos v pela equação de Taylor, temos:

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Essas são as formas mais simples de vibração de uma corda presa a duas extremidades, elas são chamadas modos normais ou naturais de vibração. Entretanto, as cordas de um instrumento dificilmente realizam um único modo vibracional quando oscilam livremente. Normalmente o que ocorre é um movimento resultante da

composição do modo fundamental com alguns harmônicos, o que caracteriza o timbre do instrumento.

Para tocar um instrumento, como o violão, por exemplo, as cordas são comprimidas com os dedos de modo a fazer variar o comprimento, produzindo as diferentes notas e acordes. Ao mudar de uma corda para a outra, varia-se a densidade linear μ e quanto menor a densidade de uma corda, maior a frequência do som gerado. Por esse motivo, as cordas mais finas dos instrumentos são as mais agudas. Para afinar o instrumento, varia-se a tensão F girando as cravelhas ou tarraxas (roscas para essa finalidade), aumentando ou diminuindo a frequência até chegar na nota desejada.

Em instrumentos de corda, como o violão e o violino, há uma caixa de madeira onde o volume de ar ressoa e é amplificado. Quando se produz a vibração na corda, ela é transmitida à madeira e ao ar no interior da caixa. Por um processo de ressonância, são reforçados apenas os sons correspondentes às frequências naturais de vibração do sistema.

Numa orquestra, de forma geral, instrumentos de cordas mais curtas produzem sons mais agudos (altos) e instrumentos de cordas mais longas, sons mais graves (baixos).

Exemplo: Bruna afina a corda mi de seu violino, para que ela vibre com uma frequência de 680 Hz. A parte vibrante das cordas do violino de Bruna mede 35 cm de comprimento, como mostrado nesta figura:

Considerando essas informações,

- a) Calcule a velocidade de propagação de uma onda na corda mi desse violino.
- b) Considere que a corda mi esteja vibrando com uma frequência de 680 Hz. Determine o comprimento de onda, no ar, da onda sonora produzida por essa corda. Velocidade do som no ar = 340 m/s

Resolução:

Pelo enunciado foram dados os seguintes valores:

$$f = 680\text{Hz}$$

$$L = 35\text{cm}$$

$$v_{\text{som}} = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- a) A velocidade de propagação de uma onda é determinada pela expressão: $v = \lambda \cdot f$, a frequência mínima é 680 Hz, ou seja, é a frequência fundamental f_1 , porém precisamos encontrar o valor do comprimento de onda, utilizamos a expressão:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

Como estamos considerando o primeiro harmônico,

$$\lambda_1 = \frac{2.35}{1}$$

$$\lambda_1 = 70 \text{ cm}$$

Agora, podemos calcular a velocidade de propagação:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = (0,7\text{m}) \cdot 680$$

$$v = 476 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Que é a velocidade da onda na corda mi.

b) Utilizando a mesma expressão:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$340 = \lambda \cdot 680$$

$$\lambda = \frac{340}{680}$$

$$\lambda = 0,5 \text{ m}$$

$$\lambda = 50 \text{ cm}$$

Que é o comprimento de onda, no ar, da onda sonora produzida pela corda mi.

Ondas em instrumentos de tubos

Em instrumentos de tubos, como flautas, saxofone, clarinete, etc., são produzidas ondas estacionárias pela boca. Eles podem ser abertos em ambos os lados ou apenas de um lado:

Tubo aberto nas duas extremidades

Um exemplo é a flauta doce, quando se sopra o ar para dentro da flauta, é produzida uma onda que vai de uma extremidade à outra. Ao atingir a saída do tubo, a onda encontra um meio diferente, sofrendo reflexão e refração. A onda refletida interfere na onda incidente, formando uma onda estacionária.

Figura 35 - Flauta doce

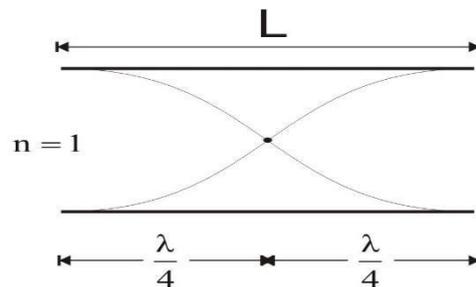


Fonte: disponível em <https://pixabay.com/pt/photos/flauta-gravador-de-tocar-flauta-2245041/>. Acesso em jan. 2022.

Como ambas as extremidades são abertas, em cada uma delas temos ventres. Seus harmônicos, frequências e comprimentos de onda são os seguintes:

➤ *1º Harmônico – som fundamental*

Figura 36 - Tubo aberto: primeiro harmônico



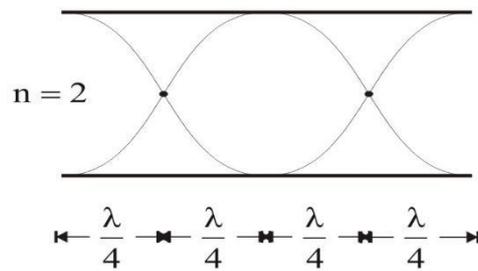
Fonte: disponível em <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Acustica/tubos.php>. Acesso em jan. 2022.

$$\frac{2\lambda_1}{4} = L \rightarrow \lambda_1 = 2L$$

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

➤ *2º Harmônico*

Figura 37 - Tubo aberto: segundo harmônico



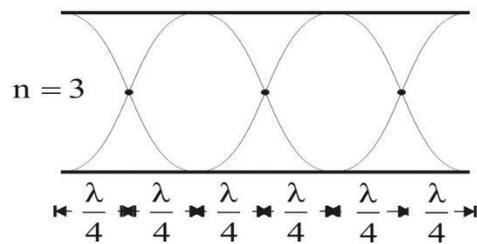
Fonte: disponível em <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Acustica/tubos.php>. Acesso em jan. 2022.

$$\frac{4\lambda_2}{4} = L \rightarrow \lambda_2 = L$$

$$f_2 = \frac{v}{L}$$

➤ *3º Harmônico*

Figura 38 - Tubo aberto: terceiro harmônico



Fonte: disponível em <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Acustica/tubos.php>. Acesso em jan. 2022.

$$\frac{6\lambda_3}{4} = L \rightarrow \lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

$$f_3 = \frac{3v}{2L}$$

➤ *Enésimo harmônico – generalizando*

$$\frac{n\lambda_n}{2} = L \rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$f_n = \frac{nv}{2L}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Tubo fechado em uma extremidade

Um exemplo é a flauta Pã, onde apenas uma extremidade é aberta, de modo que o ar possa oscilar longitudinalmente com liberdade. Já a extremidade fechada impede a oscilação das moléculas de ar.

Figura 39 - Flauta pã



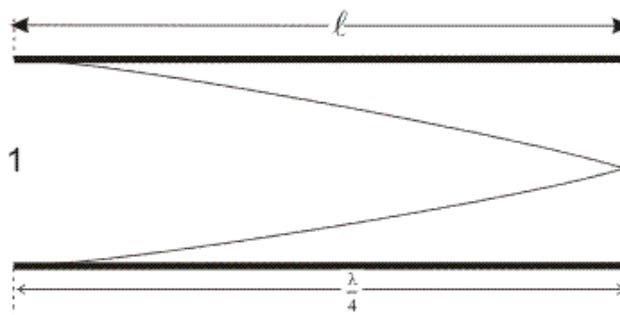
Fonte: disponível em <https://pixabay.com/pt/photos/flauta-pan-m%C3%BAAsica-653495/>. Acesso em jan. 2022.

Neste caso, dentro do tubo são possíveis somente ondas estacionárias que terminam em um nó. Essas condições determinam uma quantidade menor de modos normais de vibração da coluna de ar.

Para determinado tubo com uma extremidade fechada de comprimento L , teremos somente os harmônicos ímpares:

➤ *1º Harmônico – som fundamental*

Figura 40 - Tubo fechado: primeiro harmônico



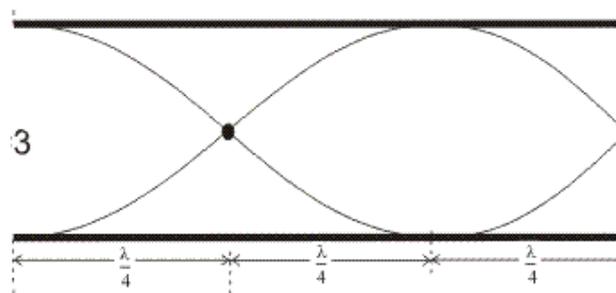
Fonte: disponível em <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Acustica/tubos2.php>. Acesso em jan. 2022.

$$\frac{\lambda_1}{4} = L \rightarrow \lambda_1 = 4L$$

$$f_1 = \frac{v}{4L}$$

3º Harmônico

Figura 41 - Tubo fechado: terceiro harmônico



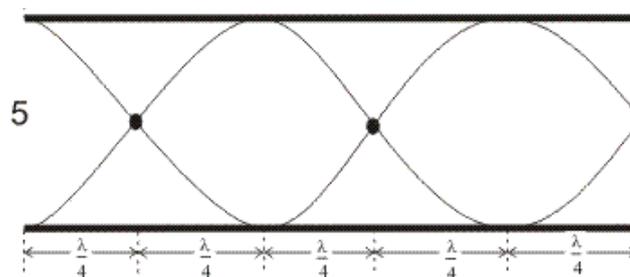
Fonte: disponível em <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Acustica/tubos2.php>. Acesso em jan. 2022.

$$\frac{3\lambda_3}{4} = L \rightarrow \lambda_3 = \frac{4L}{3}$$

$$f_3 = \frac{3v}{4L}$$

➤ 5º Harmônico

Figura 42 - Tubo fechado: primeiro harmônico



Fonte: disponível em <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Acustica/tubos2.php>. Acesso em jan. 2022.

$$\frac{5\lambda_5}{4} = L \rightarrow \lambda_5 = \frac{4L}{5}$$

$$f_5 = \frac{5v}{4L}$$

➤ *Enésimo Harmônico*

$$\frac{n\lambda_n}{4} = L \rightarrow \lambda_n = \frac{4L}{n}$$
$$f_n = \frac{nv}{4L}$$

$$n = 1, 3, 5, \dots$$

Assim como nos instrumentos de cordas, normalmente ao tocar um instrumento de tubo, diversos modos estão presentes simultaneamente, assim o movimento do ar é uma superposição desses modos.

Tubos mais compridos emitem sons mais graves e tubos mais curtos emitem sons mais agudos. Além disso, existe um conjunto de botões (ou orifícios) nesses tubos que servem para modificar o tamanho da coluna de ar e assim alterar o comprimento da onda estacionária, gerando sons com diferentes frequências. Isso é semelhante ao que ocorre no violão, em que os dedos pressionam as cordas contra o braço do instrumento e modificam o comprimento da corda que vibra, produzindo sons de diferentes frequências.

REFERÊNCIAS

CAMILLERI, Marie; TRIGUEIROS-CUNHA, Nuno. **RUIDO: ATENÇÃO PERIGO ! PROTECÇÃO**. 2017. Disponível em: <http://www.cochlea.org/po/ruido>. Acesso em: 07 jan. 2022.

OLIVEIRA, Maurício Pietrocola Pinto De et al. **Física em contextos: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som**. volume 2. 1st. ed. São Paulo - SP: Editora FTD S. A., 2011.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G.; TOLEDO, P. **Os Fundamentos da Física 2**. São Paulo: Moderna, 1997.

5 MATERIAIS UTILIZADOS NA APLICAÇÃO

5.1 MOMENTO 1: ONDAS (REMOTO)

- Mapa mental: De forma assíncrona e utilizando a ferramenta www.mentimeter.com;
- Aula síncrona de ondulatória, utilizando slides: https://docs.google.com/presentation/d/1VHRqCjNeQ_fj_HSZ08XfvdO38KPvuC8K/edit?usp=sharing&ouid=114555967288051959647&rtpof=true&sd=true
- Aula de revisão no “Google Formulários” com atividade de simulação computacional (<https://forms.gle/T5nGrsJwhqC2mGSC9>):

Figura 43 - Formulário 1.1

Seção 2 de 33

Ondas

Descrição (opcional)

"Uma onda é uma perturbação que se propaga, transportando energia, sem o transporte de matéria".

Descrição (opcional)

Imagine que você está segurando uma corda, ao sacudi-la para cima, será possível criar uma perturbação, que se chama pulso. Quando este pulso se propaga, temos uma onda.



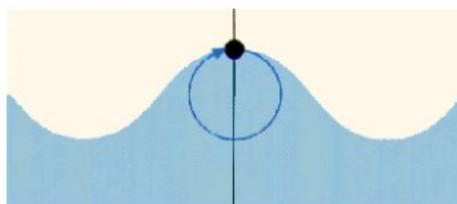
Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 44 - Formulário 1.2

Quando uma pedra cai na superfície de um lago provoca um pulso que se propaga na forma de uma onda circular.



Se algum objeto estiver na superfície do lago, não será transportado, mas oscilará para cima e para baixo, pois a onda lhe cederá energia.



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 45 - Formulário 1.3

Seção 3 de 33

Natureza das ondas

As ondas podem ser de duas naturezas: mecânicas ou eletromagnéticas

Ondas mecânicas

São perturbações que se propagam em um meio material, por vibrações de partículas.

Como as ondas mecânicas necessitam de um meio material para sua propagação, elas não se propagam no vácuo.

Ondas eletromagnéticas

São causadas por variações nos campos elétrico e magnético, originadas por cargas oscilantes.

As ondas eletromagnéticas não necessitam, obrigatoriamente, de um meio material para sua propagação, por isso podem se propagar no vácuo.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 46 - Formulário 1.4

Seção 4 de 33

Mecânica X Eletromagnética

Vamos ver o que você acha desses exemplos:

Ondas em cordas *



Mecânica

Eletromagnética

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 47 - Formulário 1.5

Seção 5 de 33

Título da seção (opcional)

As ondas produzidas em cordas são MECÂNICAS, pois precisam do meio (corda) para se propagarem.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 48 - Formulário 1.6

Seção 6 de 33

Mecânica X Eletromagnética

Descrição (opcional)

Ondas de rádio *



Mecânica

Eletromagnética

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 49 - Formulário 1.7

Seção 7 de 33

Título da seção (opcional)

As ondas de rádio são ELETROMAGNÉTICAS, pois podem se propagar no vácuo.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 50 - Formulário 1.8

Seção 8 de 33

Mecânica X Eletromagnética

Descrição (opcional)

Ondas sísmicas *



Mecânica

Eletromagnética

The illustration shows a cross-section of the ground. On the left, a yellow starburst represents an earthquake source. A seismic wave travels from left to right through the ground. Above the ground, a tower, three trees, a dog, and a house are shown, representing the path of the wave through the environment.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 51 - Formulário 1.9

Seção 9 de 33

Título da seção (opcional)

As ondas que originam os terremotos são MECÂNICAS, pois precisam de um meio para se propagar.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 52 - Formulário 1.10

Seção 10 de 33

Mecânica X Eletromagnética

Descrição (opcional)

Ondas na água



Mecânica

Eletromagnética

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 53 - Formulário 1.11

Seção 11 de 33

Título da seção (opcional)

Ondas criadas na água são MECÂNICAS, pois precisam do meio (no caso, a água) para se propagarem.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 54 - Formulário 1.12

Seção 12 de 33

Mecânica X Eletromagnética

Descrição (opcional)

Ondas de raio X



Mecânica

Eletromagnética

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 55 - Formulário 1.13

Seção 13 de 33

Título da seção (opcional)

As ondas de raio X, muito utilizadas na medicina, são ELETROMAGNÉTICAS e podem se propagar no vácuo.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

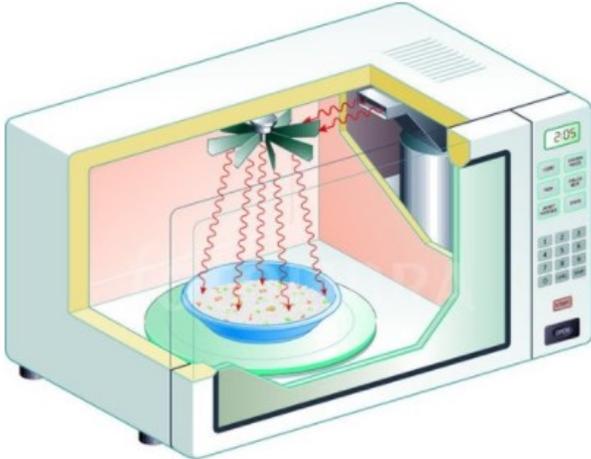
Figura 56 - Formulário 1.14

Seção 14 de 33

Mecânica X Eletromagnética

Descrição (opcional)

Micro-ondas



Mecânica

Eletromagnética

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 57 - Formulário 1.15

Seção 15 de 33

Título da seção (opcional)

As micro-ondas também são ELETROMAGNÉTICAS, juntamente com os raios gama, infravermelho, ultravioleta, luz visível, etc.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 58 - Formulário 1.16

Seção 16 de 33

Mecânica X Eletromagnética

Descrição (opcional)

Ondas sonoras



Mecânica

Eletromagnética

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 59 - Formulário 1.17

Seção 17 de 33

Título da seção (opcional)

O som é gerado por ondas MECÂNICAS e, por incrível que pareça, precisa de um meio (como o ar) para se propagar.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 60 - Formulário 1.18

Seção 18 de 33

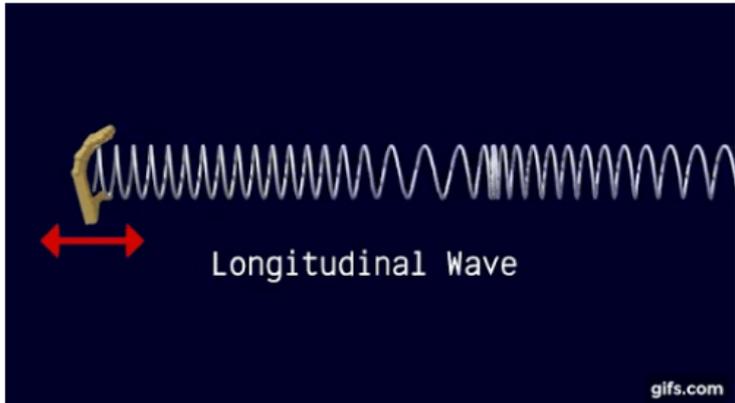
Formas de Propagação

As ondas podem se propagar transversalmente, longitudinalmente, ou de forma mista (mistura das duas):

Ondas transversais
São aquelas em que a direção de propagação da onda é perpendicular à direção de vibração. São exemplos as ondas numa corda e as ondas eletromagnéticas.

Ondas Longitudinais
São aquelas em que a direção de propagação da onda coincide com a direção de vibração. O som é um exemplo.

Título d...



Longitudinal Wave

gifs.com

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

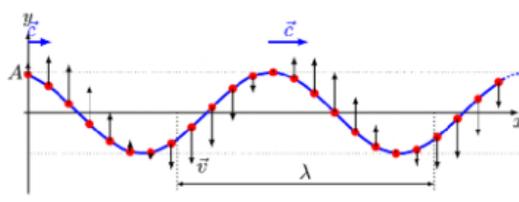
Figura 61 - Formulário 1.19

Seção 19 de 33

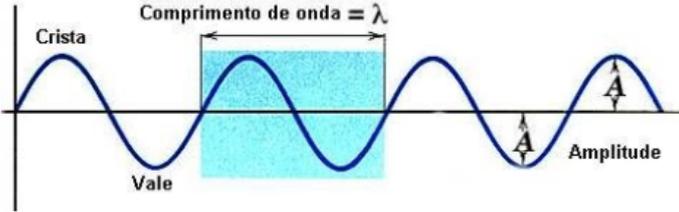
Ondas periódicas

Descrição (opcional)

Quando um pulso segue o outro em uma sucessão regular tem-se uma onda periódica. O formato das ondas individuais se repete em tempos iguais.



Nas ondas periódicas destacamos alguns elementos importantes:



Comprimeto de onda = λ

Crista

Vale

Amplitude

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 62 - Formulário 1.20

<p>Amplitude da onda (A)</p> <p>É a medida da altura máxima da onda, também chamada de crista (extremo superior) ou vale (extremo inferior). Unidade de medida -> [A] = m (metro)</p>
<p>Comprimento de onda (λ)</p> <p>É a distância entre o começo e o fim de uma oscilação, o tamanho de cada repetição, ou a distância entre duas cristas/vales. Unidade de medida -> [λ] = m (metro)</p>
<p>Período (T)</p> <p>Intervalo de tempo de uma oscilação completa de qualquer ponto da onda. Unidade de medida -> [T] = s (segundo)</p>
<p style="text-align: center;">⋮</p> <p>Frequência (f)</p> <p>É o número de oscilações por segundo, determinada pela fonte que origina a onda. Por definição, a frequência é o inverso do período:</p> <p>$f = 1/T$</p> <p>Unidade de medida -> [f] = H (hertz)</p>
<p>Velocidade de propagação (v)</p> <p>Distância que a onda avança no tempo. Determinada pela equação:</p> <p>$v = \lambda f$</p> <p>Unidade de medida -> [v] = m/s</p>

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 63 - Formulário 1.21

<p>Seção 20 de 33</p> <p>Observação! ✕ ⋮</p> <p>Quanto mais próximas as moléculas estão em um meio, mais rápido as ondas mecânicas se propagam nele. Na prática isso quer dizer que as ondas mecânicas se propagam mais rápido em sólidos do que em líquidos e gases. O contrário acontece com as ondas eletromagnéticas, que se propagam com sua velocidade máxima no vácuo e mais lentamente em meios sólidos.</p>
<p style="text-align: center;">⋮</p> <p>Velocidade da luz no vácuo (c)</p> <p>Por experimentos é possível calcular a velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo, hoje sabemos que seu valor é:</p> <p>v (vácuo) = $c = 300.000.000$ m/s</p>

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 64 - Formulário 1.22

Seção 21 de 33

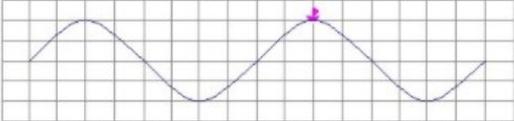
Exemplo

Descrição (opcional)

Título d...

Exemplo:

A figura abaixo representa uma onda periódica propagando-se na água (a onda está representada de perfil). A velocidade de propagação desta onda é de 40 m/s, e cada quadradinho possui 1 m de lado.



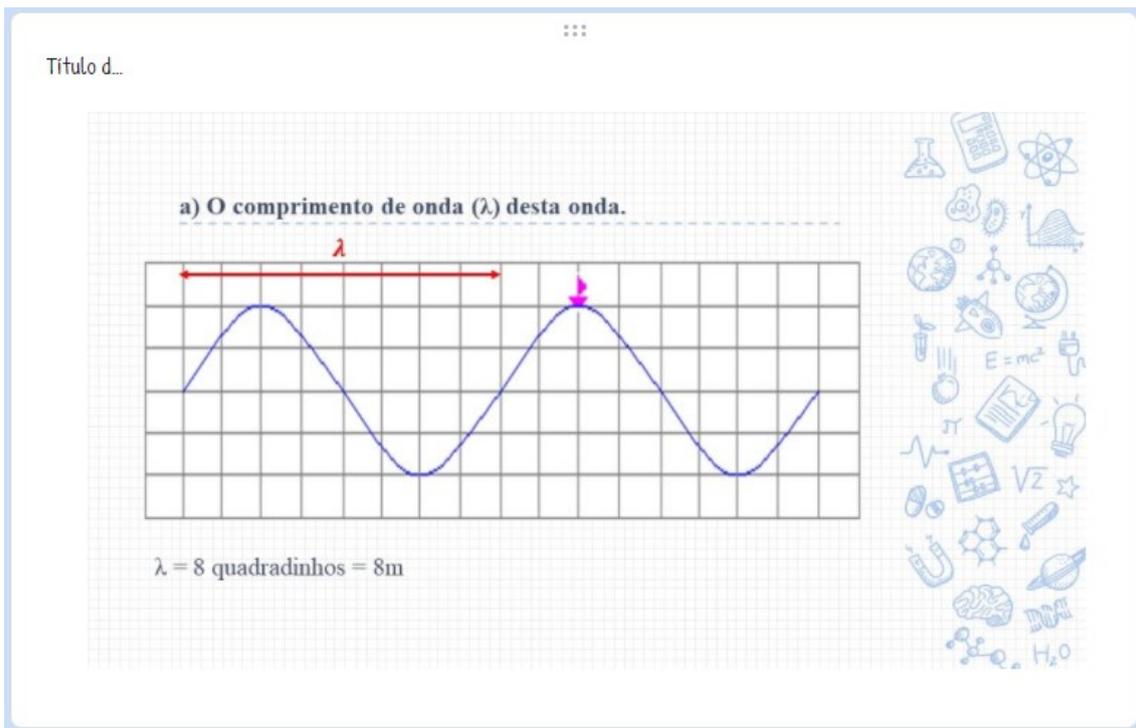
Determine:

- O comprimento de onda (λ) desta onda.
- A amplitude (A) desta onda.
- A frequência (f) da onda.
- O período (T) de oscilação do barquinho sobre a onda.



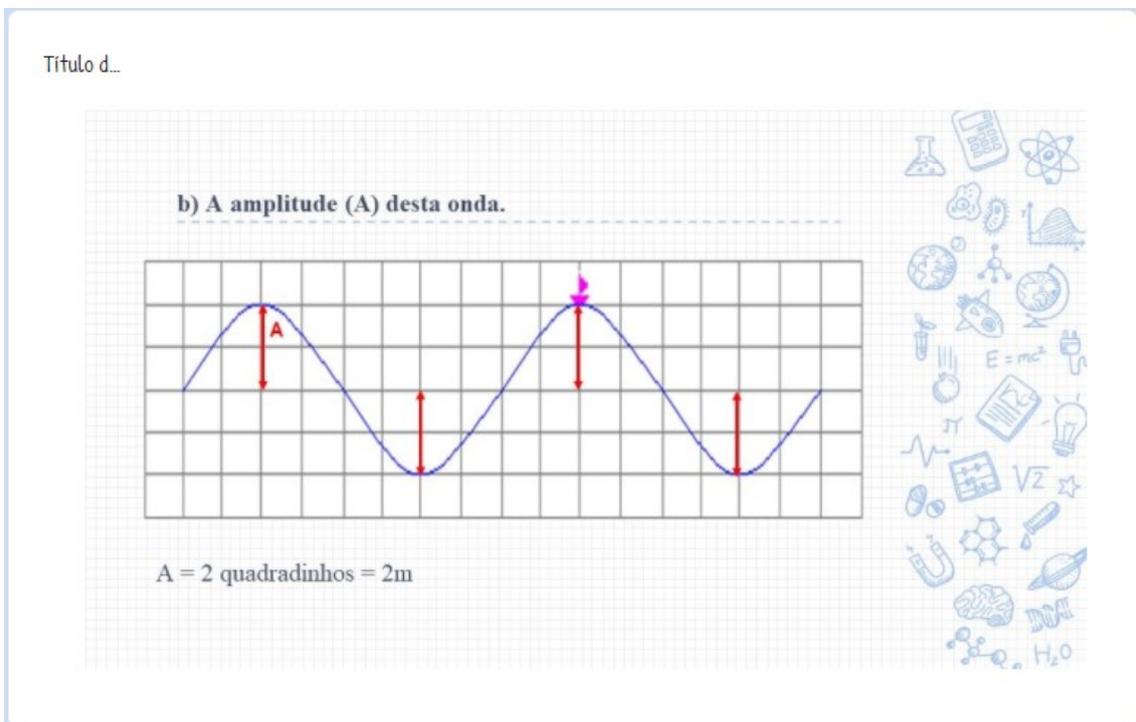
Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 65 - Formulário 1.23



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 66 - Formulário 1.24



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 67 - Formulário 1.25

Titulo d...

⋮

c) A frequência (f) da onda.

$v = 40m/s$
 $\lambda = 8m.$

Devemos utilizar a equação:

$$v = \lambda f$$

Isolando a frequência:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

Substituindo os valores:

$$f = \frac{40}{8}$$

f = 5Hz



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 68 - Formulário 1.26

Titulo d...

d) O periodo (T) de oscilação do barquinho sobre a onda.

$$T = \frac{1}{f}$$
$$T = \frac{1}{5}$$

T = 0,2s



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 69 - Formulário 1.27

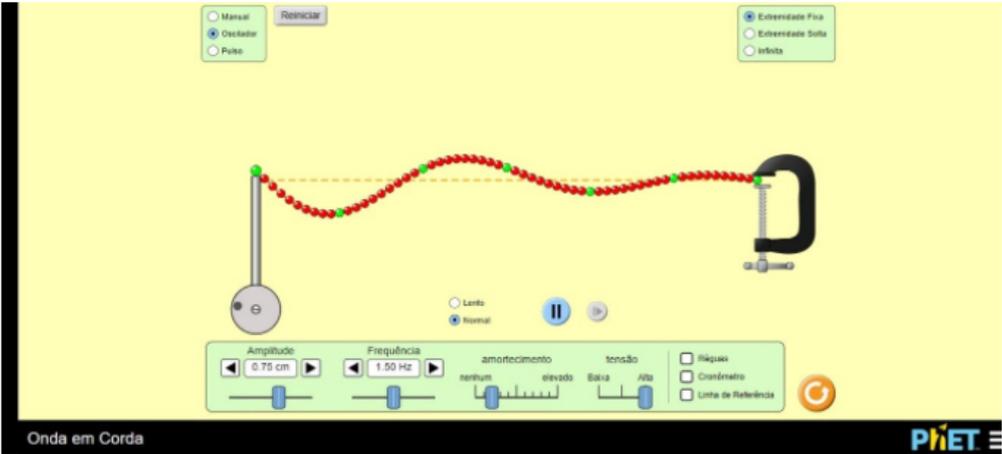
Seção 22 de 33

Atividade Experimental

Descrição (opcional)

Acesse o link abaixo:
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string

Explore um pouco a simulação, observe o que cada botão faz.



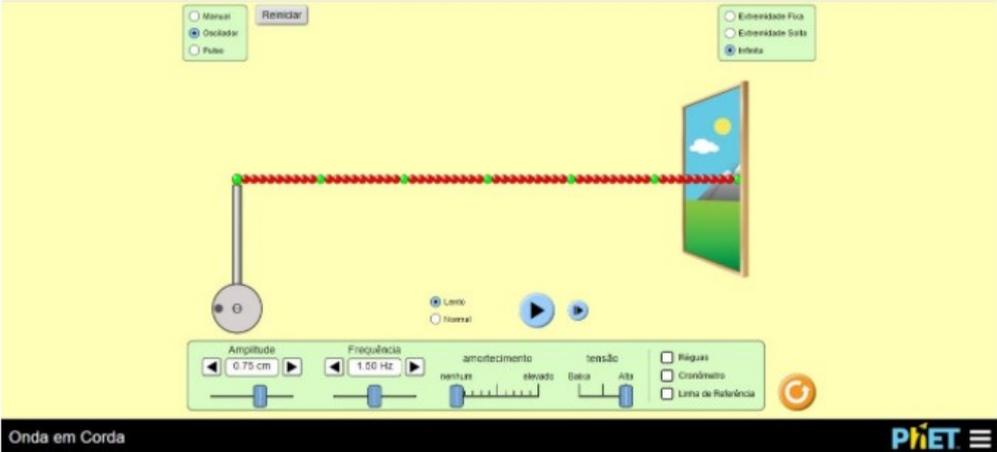
Onda em Corda

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 70 - Formulário 1.28

Agora que você já descobriu como funciona o simulador, vamos começar a atividade!
Clique no botão alaranjado para reiniciar.

Na caixa à esquerda: selecione oscilador. Na caixa à direita: selecione infinita. Na caixa inferior: retire o amortecimento (não altere as outras opções). Como na figura abaixo.



Onda em Corda

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 71 - Formulário 1.29

Seção 23 de 33

Título da seção (opcional) × ⋮

Descrição (opcional)

1. Inicie a simulação, clicando no play. Espere alguns segundos e pause o oscilador. Tire um print da tela (ou desenhe e * tire foto) e poste aqui.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 72 - Formulário 1.30

Seção 24 de 33

Título da seção (opcional) ✕ ⋮

Descrição (opcional)

2. Quantas cristas e quantos vales possui essa onda (antes da janela)? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 73 - Formulário 1.31

Seção 25 de 33

Título da seção (opcional) ✕ ⋮

Descrição (opcional)

3. Pegue a régua (caixa inferior) e meça ao comprimento de onda. Faça uma mudança de unidades para o SI. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 74 - Formulário 1.32

Seção 26 de 33

Título da seção (opcional) ✕ ⋮

Descrição (opcional)

4. Calcule a velocidade desta onda no SI (utilize os dados informados no simulador) *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 75 - Formulário 1.33

Seção 27 de 33

Título da seção (opcional) ✕ ⋮

Descrição (opcional)

5. Altere a frequência para 3,00 Hz. você observou alguma mudança? Se sim, Qual? Explique porquê. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 76 - Formulário 1.34

Seção 28 de 33

Título da seção (opcional) ✕ ⋮

Descrição (opcional)

6. Meça o novo comprimento de onda, responda em metros. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 77 - Formulário 1.35

Seção 29 de 33

Título da seção (opcional) ✕ ⋮

Descrição (opcional)

7. Quantas cristas e quantos vales essa nova onda possui? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 78 - Formulário 1.36

Seção 30 de 33

Título da seção (opcional) ✕ ⋮

Descrição (opcional)

8. Calcule a velocidade desta onda no SI. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 79 - Formulário 1.37

Seção 31 de 33

Título da seção (opcional) ✕ ⋮

Descrição (opcional)

9. Compare o valor com o valor da velocidade calculado anteriormente. Comente. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 80 - Formulário 1.38

Seção 32 de 33

Título da seção (opcional)

Descrição (opcional)

10. Altere o amortecimento para elevado. O que aconteceu? Explique. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 81 - Formulário 1.38

Seção 33 de 33

Fim!

Descrição (opcional)

Comentários =)

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

- Lista de exercícios 1, disponível no caderno do aluno.

5. 2 MOMENTO 2: ONDAS SONORAS (REMOTO)

- Questionário inicial sobre ondas sonoras, de forma assíncrona utilizando o “Kahoot”: <https://create.kahoot.it/share/acustica/49c2ab98-586a-467c-b7a9-624c9dbc631d>
- Formulário que contém a atividade “Telefone com fio” seguida da explicação do conteúdo de ondas sonoras: <https://forms.gle/VELKRJ5khDQx665n9>

Figura 82 - Formulário 2.1

Seção 2 de 6

Telefone com fio

Antes de começar a revisão de hoje, vamos fazer um experimento!

Você já está com seu telefone?



Poste uma foto dele aqui... *

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 83 - Formulário 2.2

Seção 3 de 6

Vamos começar?

Descrição (opcional)

1. Peça para alguém da sua família colocar um dos copos no ouvido, estique o barbante e fale no outro copo. O que você observou? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 84 - Formulário 2.3

2. Tente fazer o mesmo, mas sem esticar o barbante. O que você observou? Explique com suas palavras porque isso aconteceu. *

Texto de resposta longa

3. Tente fazer o mesmo procedimento (1), mas coloque o dedo no barbante (segurando-o). O que você observou? Explique com suas palavras porque isso aconteceu. *

Texto de resposta longa

4. Tente explicar: como o som é formado? *

Texto de resposta longa

5. Você fala em um dos copos e seu familiar te ouve no outro copo. Tente explicar como ocorre a propagação do som, desde a saída do som da sua boca, até a percepção do som no ouvido do seu parceiro de experimento. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

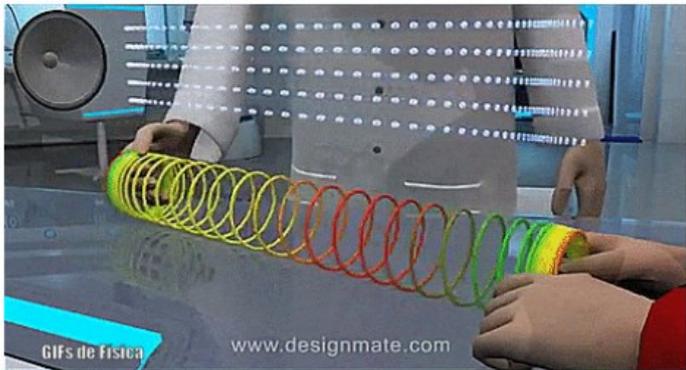
Figura 85 - Formulário 2.4

Seção 4 de 6

Ondas Sonoras

Descrição (opcional)

São ondas longitudinais de pressão, que se propagam no ar ou em outros meios.



GIFs de Física www.designmate.com

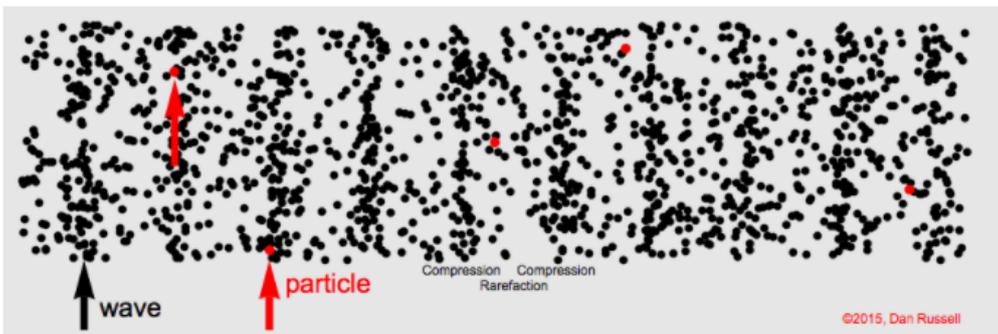
Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 86 - Formulário 2.5

Ocorre, por exemplo, ao se comprimir e expandir periodicamente um tubo de ar, quando uma corda de violão vibra ou quando um diafragma do alto falante se movimenta para frente e para trás.

Descrição (opcional)

As moléculas do meio originam regiões de baixa e alta pressão, criando-se sucessivas camadas de compressão e rarefação.

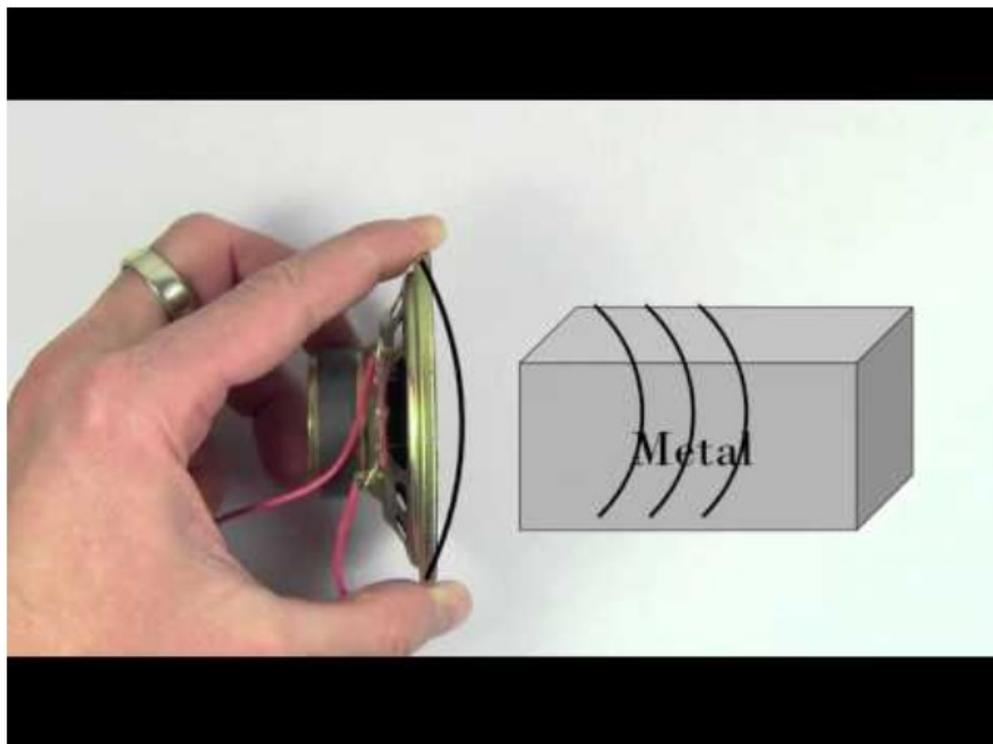


©2015, Dan Russell

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 87 - Formulário 2.6

Se quiser entender melhor, veja o vídeo abaixo...



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Produção de som - YouTube](#)

Figura 88 - Formulário 2.7

A velocidade das ondas sonoras depende da densidade do meio e da temperatura.

No ar, o som se propaga com uma velocidade de aproximadamente 340m/s.

Nos sólidos e líquidos a velocidade do som é maior.



Veja alguns exemplos na tabela:

Sólidos	
Vidro (20 °C)	5130 m/s
Alumínio (20 °C)	5100 m/s
Líquidos	
Glicerina (25 °C)	1904 m/s
Água do mar (25 °C)	1533 m/s
Água (25 °C)	1493 m/s
Mercúrio (25 °C)	1450 m/s
Gases	
Hidrogênio (0 °C)	1286 m/s
Hélio (0 °C)	972 m/s
Ar (20 °C)	343 m/s
Ar (0 °C)	330 m/s

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 89 - Formulário 2.8

Seção 5 de 6

Pense e Pesquise

Agora, faça uma pequena pesquisa:

1. Porque, quando em uma tempestade de raios, vemos primeiro o relâmpago (luz) para depois ^{*} ouvir o trovão (som)?

Texto de resposta longa

2. Porque nossa voz fica diferente quando respiramos gás hélio? ^{*}

Texto de resposta longa

3. O que é barreira do som? O que significa dizer que um avião rompeu a barreira de som? ^{*}

Texto de resposta longa

4. Como ouvimos? Pesquise como funciona o nosso ouvido. ^{*}

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 90 - Formulário 2.9

Seção 6 de 6

Fim!

Descrição (opcional)

Comentários =)

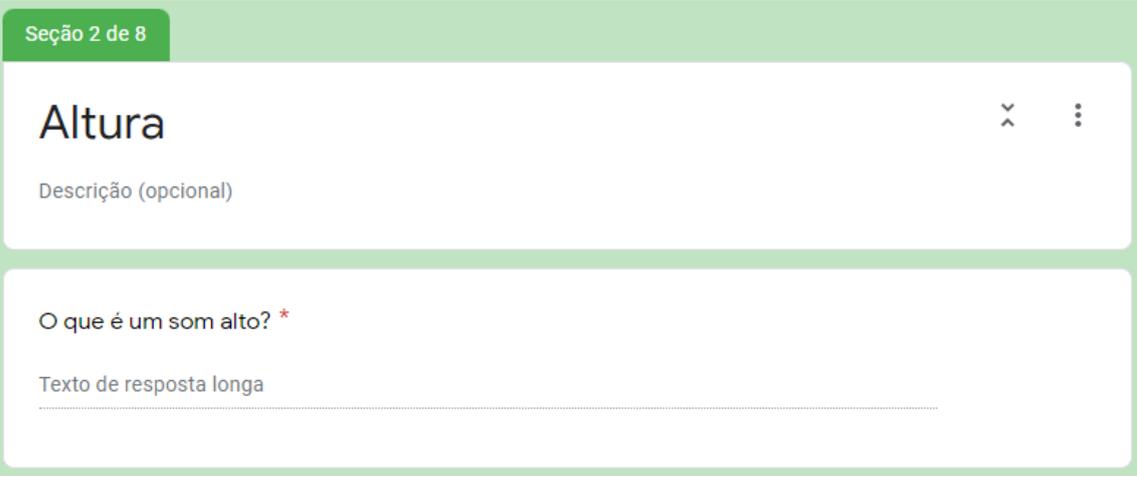
Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

5.3 MOMENTO 3: QUALIDADES DO SOM (REMOTO)

- Aula síncrona utilizando a apresentação de slides:
<https://docs.google.com/presentation/d/1SslQPAR-w1eYLhYjVWOc3qcpXEbZyglJ/edit?usp=sharing&ouid=114555967288051959647&rtpof=true&sd=true>
- Atividades assíncronas utilizando o “Google formulários”:
 - Altura: <https://forms.gle/ndBHWTrfmZFcHhMq7>

Figura 91 - Formulário 3.1



The image shows a screenshot of a Google Form. At the top, there is a green header bar with the text "Seção 2 de 8". Below this, the form title "Altura" is displayed in a large font. To the right of the title are two small icons: a close button (an 'x') and a menu button (three vertical dots). Below the title, there is a label "Descrição (opcional)". The main content area of the form contains a question: "O que é um som alto? *", where the asterisk indicates it is a required question. Below the question is a text input field with the label "Texto de resposta longa" and a dotted line indicating the input area.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 92 - Formulário 3.2

Seção 3 de 8

Altura

Descrição (opcional)

É a qualidade que nos permite diferenciar sons agudos e graves pela sua frequência:

Sons altos (agudos): frequência alta.
Sons baixos (graves): frequência baixa.

Não esqueça: A altura só está relacionada com a frequência do som!



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 93 - Formulário 3.3

Exemplo

Um rádio ligado no volume máximo, não significa que está emitindo sons altos.

Lembre-se: um som alto é um som agudo, e não com volume alto!

Unidade de medida de frequência -> Hz (hertz)

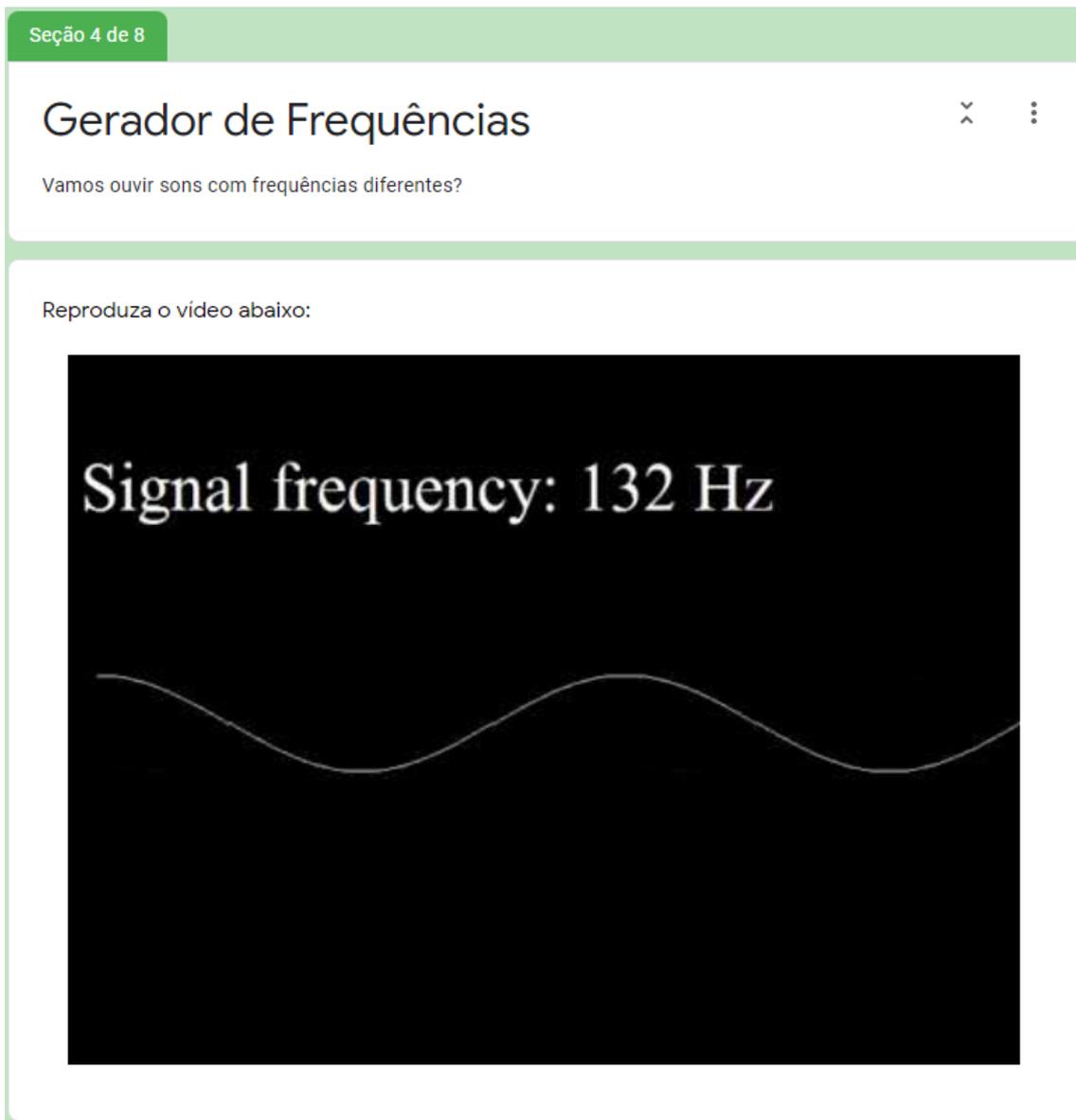
A frequência é o inverso do período (1/s)

Por exemplo:

5Hz significa que a onda faz 5 oscilações por segundo

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 94 - Formulário 3.4



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [VOCÊ OUVE BEM? Teste seus ouvidos - Faixas de Frequência - YouTube](#)

Figura 95 - Formulário 3.5

A screenshot of a Google Form question. The question is "A partir de que frequência você começou a escutar o som?" followed by an asterisk. Below the question is a long text response field with the placeholder text "Texto de resposta longa".

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 96 - Formulário 3.6

Até que frequência você escutou? *

Texto de resposta longa

Com o aumento da frequência, o que você observou no formato da onda na tela? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 97 - Formulário 3.7

Seção 5 de 8

Espectro sonoro

Espectro sonoro é o conjunto de todas as ondas que compõem os sons audíveis e não audíveis pelo ser humano.

O ouvido humano consegue captar vibrações com frequências compreendidas, aproximadamente, entre os 20 Hz e os 20.000 Hz, como podemos observar no espectro sonoro abaixo.

O diagrama apresenta o espectro sonoro em uma escala de frequências em Hertz (Hz), variando de 0 a 160.000 Hz. A faixa humana audível é destacada em laranja, entre 20 Hz e 20.000 Hz. Abaixo da escala, há barras coloridas que indicam a faixa de audição de diferentes animais: elefante e toupeira (vermelha, até ~10.000 Hz), gato e cão (verde, até ~40.000 Hz), e morcego e golfinho (roxo, até ~160.000 Hz). As regiões de infrassons e ultrassons são também rotuladas.

Animal	Faixa de Frequência (Hz)
elefante, toupeira	0 - ~10.000
gato, cão	~10.000 - ~40.000
morcego, golfinho	~40.000 - 160.000

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 98 - Formulário 3.8

Infrassons

Sons com frequência inferior a 20 Hz.

Não são audíveis ao ouvido humano, mas são para o ouvido de alguns animais (como o elefante e a toupeira) e também são utilizados em aplicações tecnológicas.

Ultrassons

Sons com frequência maior que 20.000Hz.

Também não são audíveis ao ouvido humano, mas são para alguns animais (como cão, gato, morcego, golfinho, etc). Além disso, também são muito utilizados em tecnologias, principalmente relacionadas à medicina.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 99 - Formulário 3.9

Seção 6 de 8

Pense e Pesquise

Descrição (opcional)

1. Onde encontramos o infrassom e o ultrassom no dia a dia? Dê exemplos. *

Texto de resposta longa

2. Cite e explique o funcionamento de, pelo menos, uma aplicação tecnológica de cada. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 100 - Formulário 3.10

Seção 7 de 8

Música

São quando as ondas sonoras emitidas possuem frequências em harmonia, produzindo uma sensação auditiva agradável.

Essas frequências não são representadas por números (ex. 440Hz), mas por nomes próprios ou notas, por exemplo: DÓ, RÉ, MI, FÁ, SOL, LÁ, SI, DÓ..., que corresponde a uma escala.



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 101 - Formulário 3.11

Notas	Frequência (Hz)
dó	264
ré	297
mi	330
fá	352
sol	396
lá	440
si	495
dó	528

Escala Musical: é uma sequência ordenada de notas.

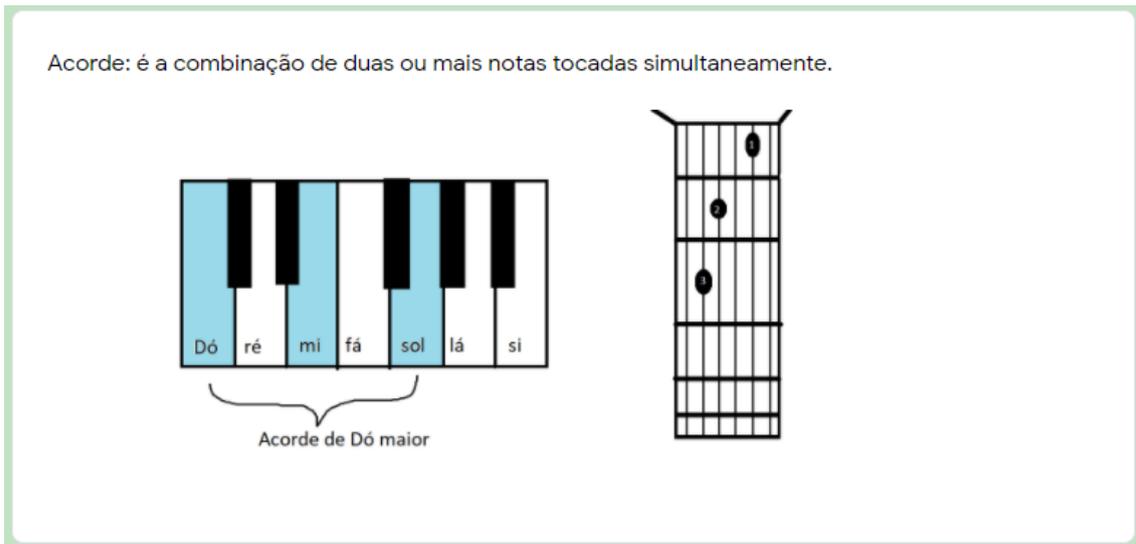


Existem vários tipos de escala, a mais conhecida é a escala de Dó:

DÓ RÉ MI FÁ SOL LÁ SI DÓ

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 102 - Formulário 3.12



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 103 - Formulário 3.13

Seção 8 de 8

Fim! ✕ ⋮

Descrição (opcional)

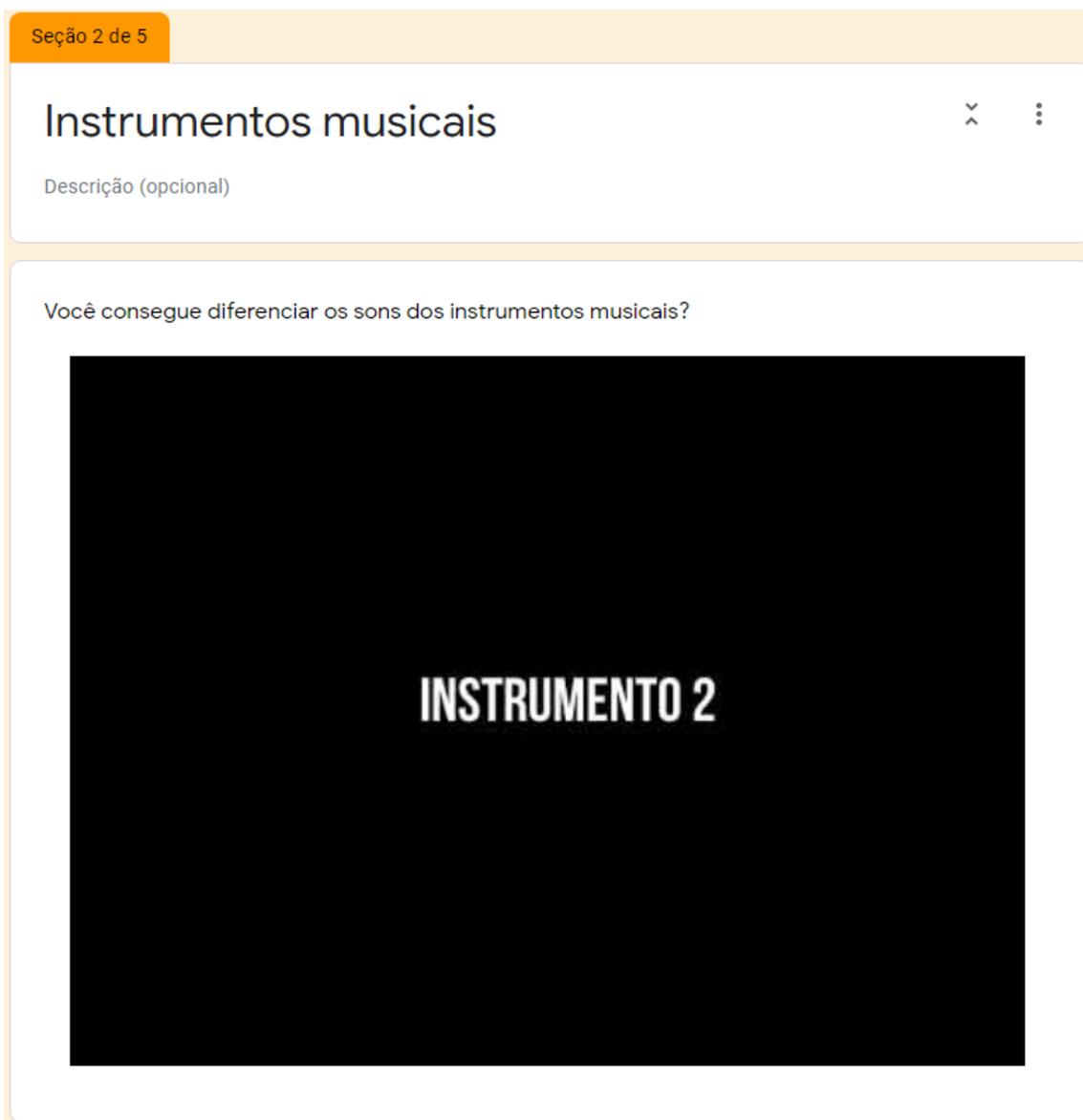
Comentários =)

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

- Timbre: <https://forms.gle/Rv2CnEAomWWUEddf6>

Figura 104 - Formulário 4.1



The image shows a screenshot of a Google Form. At the top left, there is a tab labeled 'Seção 2 de 5'. The main title of the form is 'Instrumentos musicais', with a close button (X) and a menu button (three dots) to its right. Below the title is a placeholder for a description: 'Descrição (opcional)'. The main question of the form is 'Você consegue diferenciar os sons dos instrumentos musicais?'. Below the question is a large black rectangular area with the text 'INSTRUMENTO 2' centered in white, bold, uppercase letters.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: <https://youtu.be/4lc6gOUNKfQ>

Figura 105 - Formulário 4.2

Qual o instrumento 1? *

Texto de resposta longa

Qual o instrumento 2? *

Texto de resposta longa

Qual o instrumento 3? *

Texto de resposta longa

Por que conseguimos diferenciar a mesma nota musical em instrumentos diferentes? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

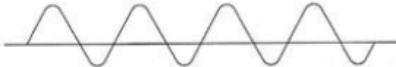
Figura 106 - Formulário 4.3

Seção 3 de 5

Timbre

É a qualidade que permite ao ouvido humano diferenciar sons de mesma altura e intensidade, emitidos por fontes diferentes.

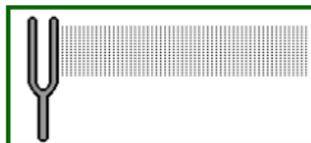
Está associado à forma da onda e é caracterizado pela composição de frequências que constituem a onda sonora emitida pelo instrumento. Cada instrumento emite uma onda diferente, devido a diversos fatores, como o material de que é feito, sua forma e a força usada para produzir o som.

	diapasão	
	flauta	
	voz (a)	
	violino	

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 107 - Formulário 4.4

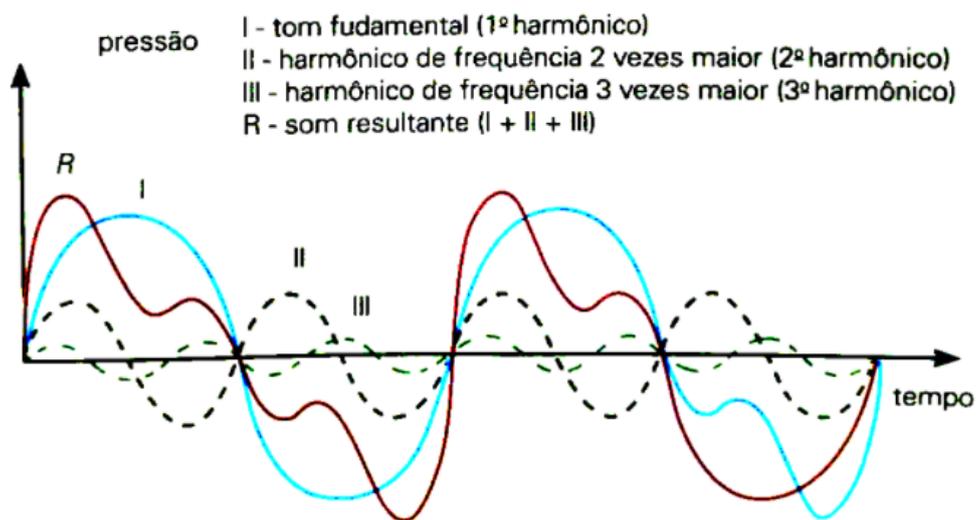
Diapasão: é um instrumento sonoro fabricado para vibrar em uma única frequência, que serve para afinar um instrumento musical.



As notas emitidas por um instrumento musical são formadas por um conjunto de frequências. Cada combinação diferente de frequências, resultam em uma onda com formato específico.

Descrição (opcional)

Além disso, esta combinação de frequências também determina se o som é agradável ou não. A sensação de som agradável ocorre quando as frequências que compõem o som são múltiplas umas das outras, ou seja, temos uma frequência básica (tom fundamental) e as demais são duas, três ou quatro vezes maiores, os chamamos harmônicos.



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 108 - Formulário 4.5

Seção 4 de 5

Pense e pesquise

Descrição (opcional)

Escolha um instrumento musical que você goste e pesquise como ele é feito, quais os materiais * utilizados e como interfere no som.

Texto de resposta longa

Detailed description: This is a screenshot of a Google Form section. At the top, there is a header bar with the text 'Seção 4 de 5' in white on an orange background. Below this, the main content area has a white background with a light orange border. The title 'Pense e pesquise' is in a large, dark font. To the right of the title are two small icons: a close button (an 'x') and a menu button (three vertical dots). Below the title is the text 'Descrição (opcional)'. The main question is 'Escolha um instrumento musical que você goste e pesquise como ele é feito, quais os materiais * utilizados e como interfere no som.' The asterisk indicates a required question. Below the question is a text input field with the placeholder text 'Texto de resposta longa' and a dotted line indicating the input area.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 109 - Formulário 4.6

Seção 5 de 5

Fim!

Descrição (opcional)

Comentários =)

Texto de resposta longa

Detailed description: This is a screenshot of a Google Form section. At the top, there is a header bar with the text 'Seção 5 de 5' in white on an orange background. Below this, the main content area has a white background with a light orange border. The title 'Fim!' is in a large, dark font. To the right of the title are two small icons: a close button (an 'x') and a menu button (three vertical dots). Below the title is the text 'Descrição (opcional)'. The main question is 'Comentários =)'. Below the question is a text input field with the placeholder text 'Texto de resposta longa' and a dotted line indicating the input area.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

- Intensidade: <https://forms.gle/QUEDF4kW3rfmjZnN6>

Figura 110 - Formulário 5.1

Seção 2 de 9

Volume do som

Descrição (opcional)

Em qual volume você utiliza o fone de ouvido? *

Texto de resposta longa

Será que volumes "altos" prejudicam a audição? *

Texto de resposta longa

Se um som alto é um som agudo, que característica da onda determina o volume? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 111 - Formulário 5.2

Seção 3 de 9

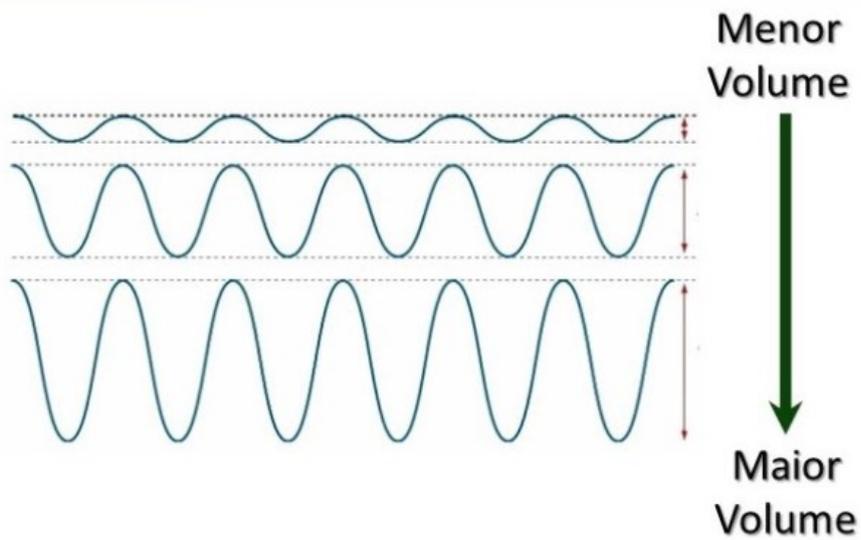
Intensidade

É a qualidade que nos permite diferenciar sons fortes e sons fracos, relacionada com a amplitude da onda sonora.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 112 - Formulário 5.3

Quanto maior a amplitude da onda, maior o volume, ou seja, mais forte o som será.



Fisicamente, intensidade sonora é a energia transmitida pela onda por unidade de tempo e área. Sendo assim, temos

$$I = \frac{E}{A \cdot \Delta t} \quad \text{como } \frac{E}{\Delta t} = P \quad I = \frac{P}{A}$$

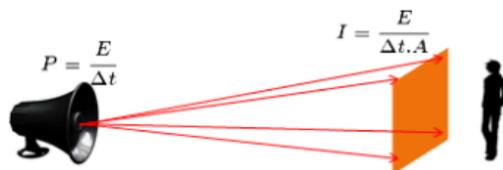
- Limiar de audibilidade - Menor intensidade sonora que pode ser ouvida.
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
- Limiar de dor - Maior intensidade suportável pelo ouvido humano.

$$I_{\text{máx}} = \frac{1 \text{ W}}{\text{m}^2}$$



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 113 - Formulário 5.4



No Sistema Internacional de Unidades, a intensidade sonora é medida em W/m^2 (watts por metro quadrado).

Obs: Iremos estudar a intensidade sonora qualitativamente (os conceitos irão predominar sobre os cálculos).

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 114 - Formulário 5.5

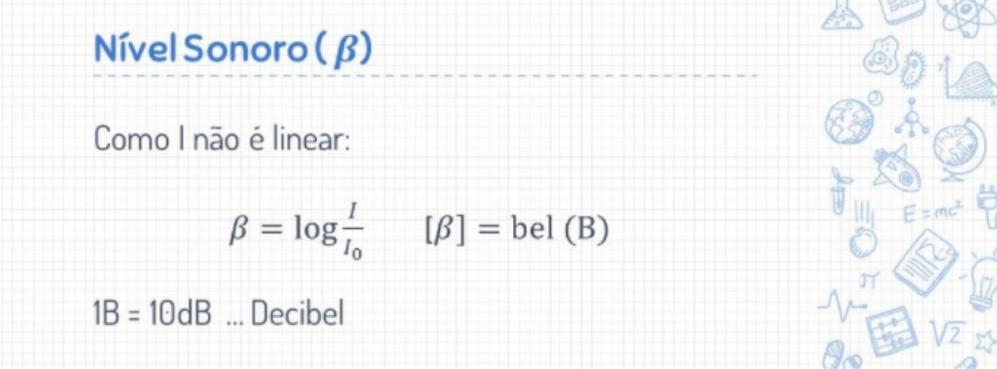
Seção 4 de 9

Nível sonoro

Na prática, utilizamos o conceito de nível sonoro (β), pois é construído em escala logarítmica, visto que a intensidade sonora não varia linearmente (se dobramos a intensidade o som fica mais forte, porém não duas vezes mais intenso).

...

Sendo I a intensidade do som que se quer medir e I_0 a intensidade mínima, o nível sonoro é dado por:



Nível Sonoro (β)

Como I não é linear:

$$\beta = \log \frac{I}{I_0} \quad [\beta] = \text{bel (B)}$$

1B = 10dB ... Decibel

A unidade utilizada para o nível sonoro é o Bel (B), mas como esta unidade é grande comparada com a maioria dos valores de nível sonoro utilizados no cotidiano, seu múltiplo usual é o decibel (dB), de maneira que 1B=10dB.

Obs: Iremos estudar a nível sonoro qualitativamente (os conceitos irão predominar sobre os cálculos).

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 115 - Formulário 5.6

Seção 5 de 9

Como medir o nível sonoro?

Descrição (opcional)

Baixe o App: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.splendapps.decibel&hl=pt_BR

Descrição (opcional)

1. Meça o nível sonoro nos ambiente de sua casa e anote aqui. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 116 - Formulário 5.7

2. Agora escolha duas fontes sonoras diferentes (exemplo: liquidificador e secador de cabelo) e anote abaixo a potência de cada uma (representada pela unidade de medida W)

Texto de resposta longa

...

3. Ligue cada uma das fontes separadamente e meça o nível sonoro ao redor. *

Texto de resposta longa

4. Agora ligue as duas fontes juntas e meça o nível sonoro. *

Texto de resposta longa

5. O que você observou? Tente explicar com suas palavras. *

Texto de resposta longa

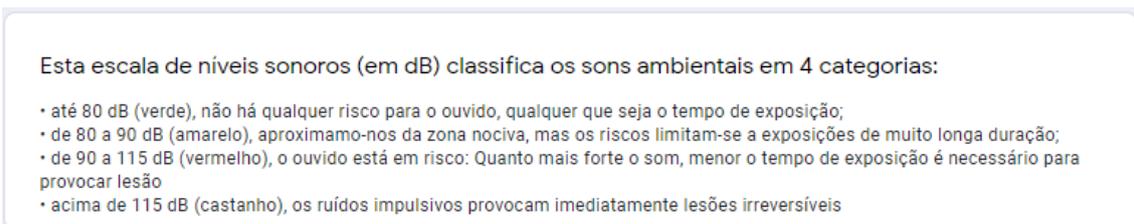
Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 117 - Formulário 5.8



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 118 - Formulário 5.9



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 119 - Formulário 5.10

Na imagem abaixo podemos ver a relação entre a intensidade e o tempo limite de exposição.

Intensidade do ruído em dB.

Legislação Europeia

- 105 dB**: Legislação sobre discotecas e bares musicais
- 100 dB**: Legislação sobre dispositivos musicais pessoais (MP3)
- 80-85 dB**: legislação laboral

TEMPO MÁXIMO DE EXPOSIÇÃO (SEM PROTECÇÃO) ANTES QUE SE PRODUZA LESÃO

- De 120 a 140 dB : Alguns segundos bastam para produzir lesão irreversível
- 107 dB : 1 minutos por dia
- 101 dB : 4 minutos por dia
- 95 dB : 15 minutos por dia
- 92 dB : 30 minutos por dia
- 86 dB : 2h horas por dia
- 80 dB : 8h horas por dia

Legenda de risco:

- Sons excepcionais: Lesão irreversível.
- Perigo: Sons lesivo.
- Limiar do som lesivo
- Sem risco.

Você utiliza fones de ouvido? Em qual volume? Consulte a tabela acima: quanto tempo, no máximo, por dia você deveria usar fones de ouvido? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 120 - Formulário 5.11

Seção 7 de 9

Pense e Pesquise

Descrição (opcional)

1. Quais os problemas de saúde que os sons com grande intensidade podem trazer para os seres humanos? *

Texto de resposta longa

2. O que é poluição sonora? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 121 - Formulário 5.12

3. Quais são os responsáveis pela poluição sonora no dia a dia? *

Texto de resposta longa

4. A poluição sonora pode afetar a saúde humana? Justifique. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

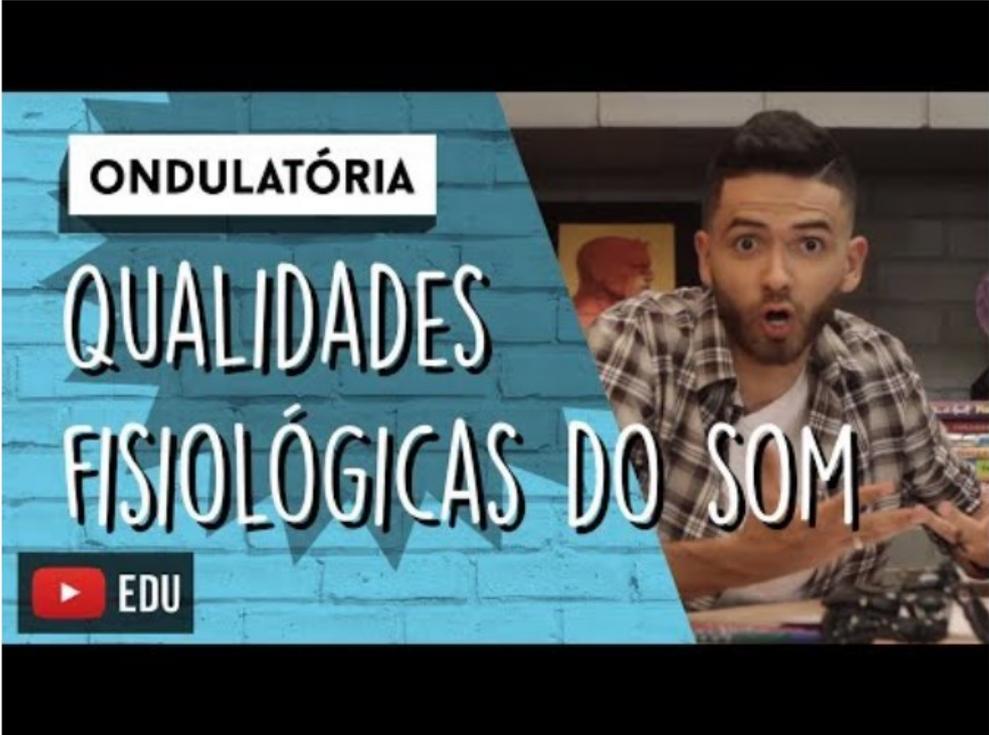
Figura 122 - Formulário 5.13

Seção 8 de 9

Revisão

Descrição (opcional)

Vídeo s...

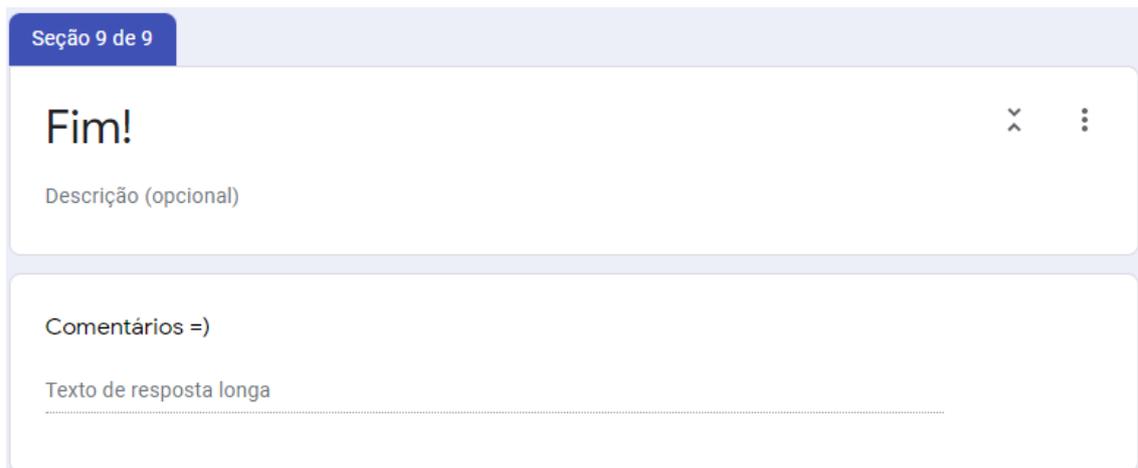


The image shows a screenshot of a Google Forms 'Revisão' (Review) section. At the top, it indicates 'Seção 8 de 9' (Section 8 of 9). The main heading is 'Revisão' with a close button and a menu icon. Below this is a 'Descrição (opcional)' (Optional description) field. The video section is titled 'Vídeo s...' and contains a video thumbnail. The thumbnail features a man with a surprised expression, a blue brick wall background, and the text 'ONDULATÓRIA QUALIDADES FISIOLÓGICAS DO SOM' in large white letters. A 'YOUTUBE EDU' logo is visible in the bottom left corner of the thumbnail.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Quais são as QUALIDADES FISIOLÓGICAS DO SOM? | ONDULATÓRIA - YouTube](#)

Figura 123 - Formulário 5.14



Seção 9 de 9

Fim!

Descrição (opcional)

Comentários =)

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

5. 4 MOMENTO 4: FENÔMENOS SONOROS (REMOTO)

- Aula síncrona sobre reflexão sonora utilizando slides: <https://docs.google.com/presentation/d/1IKv0kkeSg1oGCwXRv0UNQIPhywbFDNrP/edit?usp=sharing&oid=114555967288051959647&rtpof=true&sd=true>
- Formulário de revisão e atividades: <https://forms.gle/hUoUeHePtRpWHx3Y7>

Figura 124 - Formulário 6.1

Seção 2 de 9

O que essas imagens têm em comum? ✕ ⋮

Descrição (opcional)

Título d...

A photograph showing the interior of a Gothic cathedral, characterized by high, pointed arches and large, colorful stained glass windows. The architecture is highly detailed and ornate.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 125 - Formulário 6.2

Título d...

A photograph of a white naval ship, possibly a minesweeper or auxiliary vessel, sailing on the open ocean under a blue sky with scattered clouds. The ship is viewed from a side-on perspective, moving towards the right.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 126 - Formulário 6.3

Título d...



Título d...



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 127 - Formulário 6.4

Você consegue ver alguma relação entre as imagens acima? O que elas podem ter em comum? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

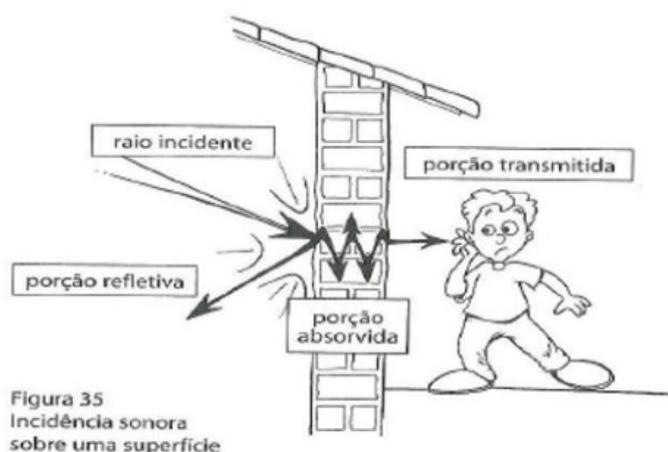
Figura 128 - Formulário 6.5

Seção 3 de 9

Reflexão Sonora

Ao ser emitida, uma onda sonora tende a se propagar livremente em todas as direções.

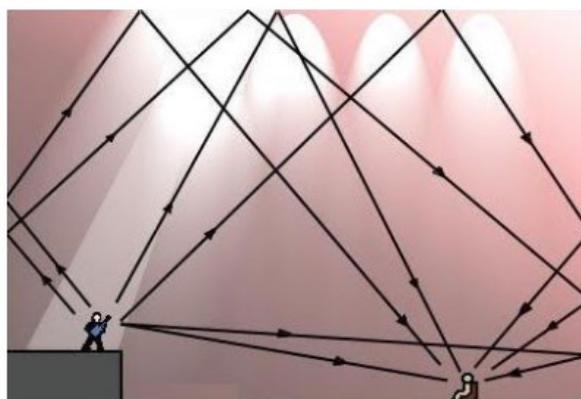
Ao incidir em uma superfície, parte do som é absorvido e transmitido e parte é refletido!



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 129 - Formulário 6.6

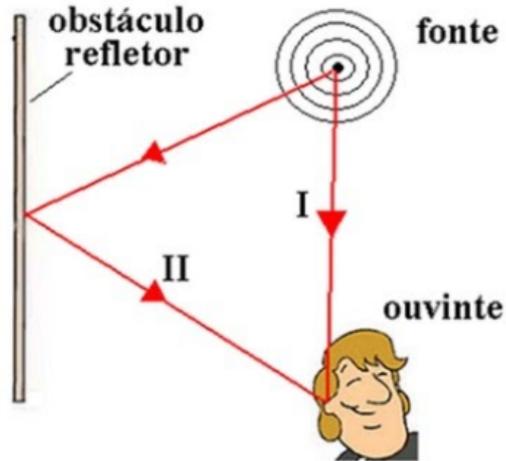
Quando ocorre a reflexão do som, podemos ter três impressões diferentes, reforço, reverberação ou eco, dependendo do tempo decorrido entre a chegada do som original e do refletido.



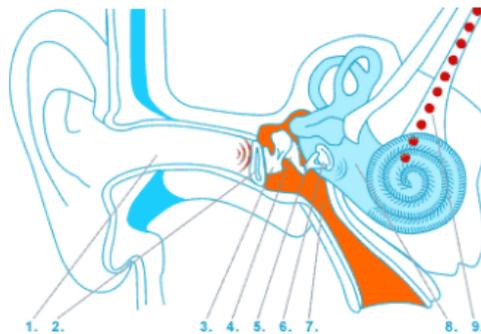
Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 130 - Formulário 6.7

Na figura abaixo, o ouvinte recebe em instantes diferentes, a onda direta I e a onda refletida II, emitidas pela mesma fonte.



Quando a diferença de tempo para as duas ondas chegarem ao ouvinte for menor que 0,1s, seu cérebro não conseguirá reconhecê-las como dois sons diferentes. Esse tempo de 0,1s é chamado de persistência auditiva.



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 131 - Formulário 6.8

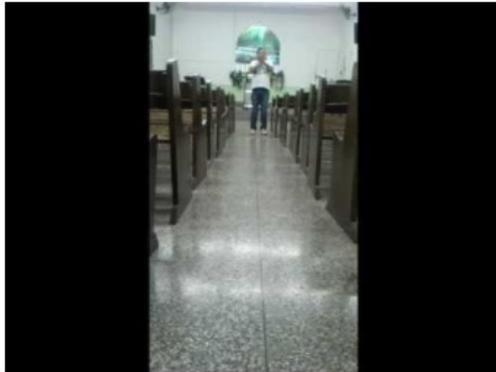
Reforço: Ocorre quando o intervalo de tempo é desprezível, ou seja, o obstáculo está muito próximo do ouvinte, fazendo com que o som refletido chegue junto com o som direto. Assim, ambos se reforçam, dando a sensação de maior intensidade.

Descrição (opcional)

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 132 - Formulário 6.9

Reverberação: ocorre quando o obstáculo se encontra distante do ouvinte, fazendo o som refletido chegar depois daquele que veio direto, provocando uma sensação de continuidade, principalmente no fim da duração de uma nota.



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Reverberação - YouTube](#)

Figura 133 - Formulário 6.10

Eco: ocorre quando o som refletido chega ao ouvinte com um intervalo de tempo superior a 0,1s após o som direto, assim a percepção de repetição da última parte é nítida, o ouvinte escuta dois sons diferentes.

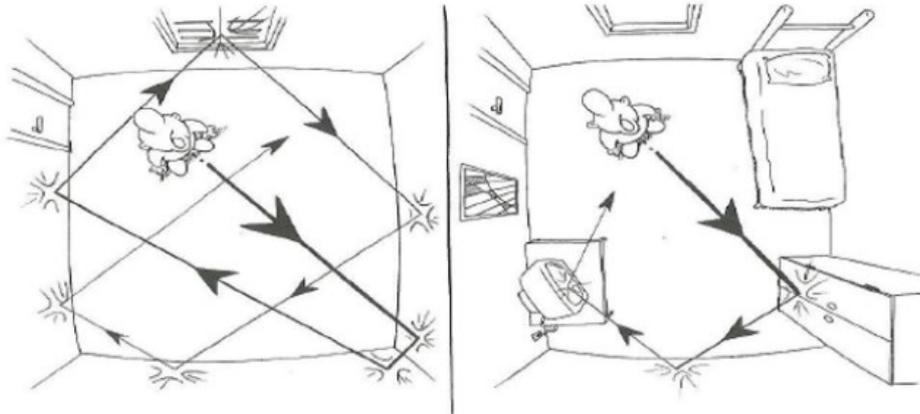


Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Eco - YouTube](#)

Figura 134 - Formulário 6.11

O resultado da reflexão do som depende dos materiais do ambiente, quando mais absorvedores, mais energia é perdida.



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 135 - Formulário 6.12

Seção 4 de 9

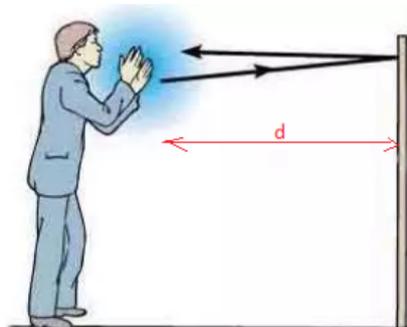
Exemplos de aplicação

Descrição (opcional)

1. O menor intervalo de tempo para que o cérebro humano consiga distinguir dois sons que chegam ao ouvido é, em média, 0,1s. Qual a menor distância que podemos ficar de um obstáculo para ouvir o eco de nossa voz? (Dado a velocidade do som no ar 340m/s)

Descrição (opcional)

Quando "falamos" o som sai da nossa boca, vai até o obstáculo e volta. Sendo assim, o som percorre a distância d duas vezes (na ida e na volta).



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 136 - Formulário 6.13

Primeiro, devemos lembrar que a velocidade é a distância dividido pelo tempo. No caso do eco,

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{2D}{\Delta t}$$

⋮

Agora podemos substituir o valor da velocidade do som no ar (340m/s) e do tempo de persistência auditiva (0,1s)

$$340 = \frac{2D}{0,1}$$

$$2D = 340 \times 0,1$$

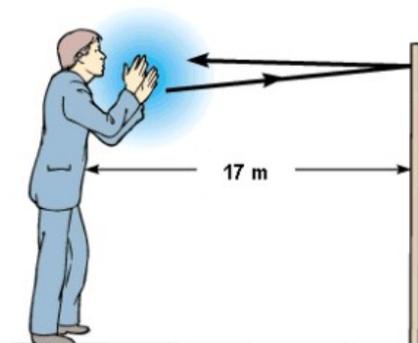
$$D = \frac{34}{2}$$

$$D = 17m$$

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 137 - Formulário 6.14

A menor distância que podemos ficar de um obstáculo para ouvir o eco de nossa voz é 17m



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 138 - Formulário 6.15

Seção 5 de 9

Exemplos de aplicação

Descrição (opcional)

2. Determine o tempo, em segundos, decorrido entre o instante da emissão de uma onda por um sonar de um navio e seu retorno após colidir com um submarino que se encontra a 435m de profundidade. (Dado a velocidade do som no mar 1450m/s)

Descrição (opcional)

O som é emitido pelo sonar do navio, percorre 435m até o submarino e volta por mais 435m até o navio. Assim, a distância percorrida é de 870m.



O diagrama mostra um navio de três mastros na superfície do mar. Abaixo dele, no fundo do mar, há um submarino. Linhas vermelhas curvas representam as ondas de som emitidas pelo navio, viajando para baixo até o submarino e refletindo de volta para cima até o navio.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 139 - Formulário 6.16

Sabendo que, neste caso, a velocidade é a distância percorrida pelo tempo:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$
$$1450 = \frac{870}{\Delta t}$$
$$\Delta t = \frac{870}{1450}$$
$$\Delta t = \mathbf{0,6s}$$

⋮

O tempo decorrido entre o instante da emissão da onda pelo sonar do navio e seu retorno após colidir com um submarino é de 0,6s

Descrição (opcional)

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 140 - Formulário 6.17

Seção 6 de 9

Agora é com você!

Descrição (opcional)

1. Um submarino possui um sonar que emite ondas sonoras. A velocidade das ondas na água é * de 1400m/s. Quando em repouso na superfície, o submarino emite um sinal na direção vertical através do oceano e o eco é recebido após 0,5s. Qual é a profundidade do oceano nesse local?

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

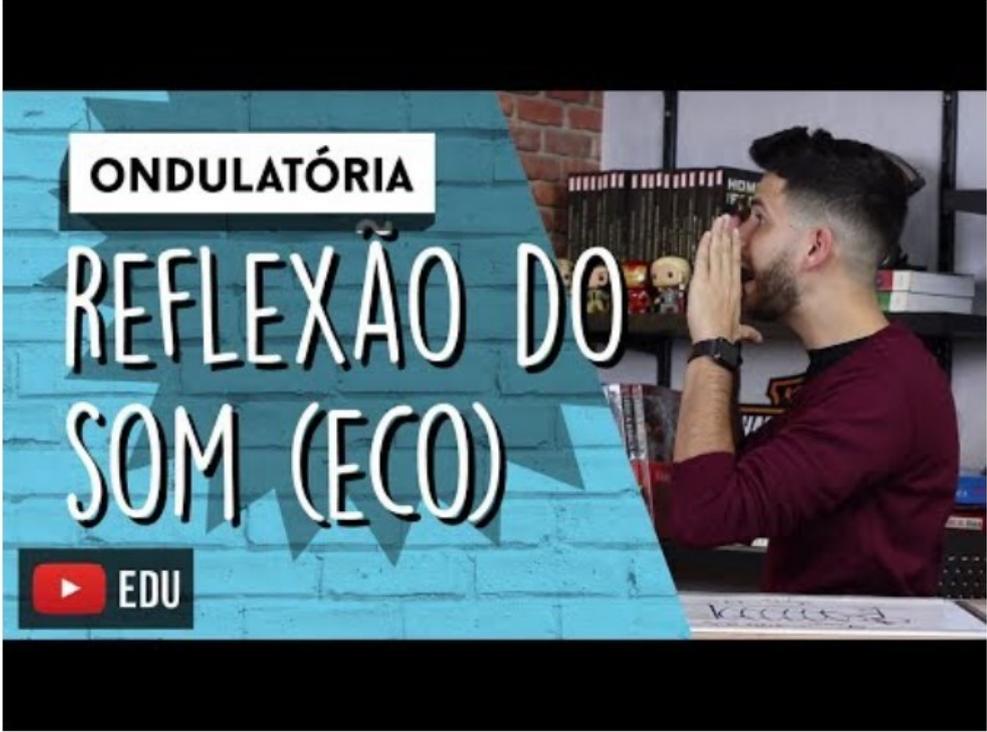
Figura 141 - Formulário 6.18

Seção 7 de 9

Resumo

Descrição (opcional)

Video s...



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Reflexão do Som \(Eco\) | ONDULATÓRIA - YouTube](#)

Figura 142 - Formulário 6.19

Seção 8 de 9

Pense e pesquise

Descrição (opcional)

Pesquise uma aplicação tecnológica que utiliza a reflexão do som e explique seu funcionamento. *

Texto de resposta longa

...

Pesquise como alguns animais utilizam a reflexão do som, dê exemplos. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 143 - Formulário 6.20

Seção 9 de 9

Fim!

Descrição (opcional)

Comentários =)

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

- Lista de exercícios 2, disponível no caderno do aluno;
- Aula e atividades assíncronas sobre os fenômenos da Ressonância e do Efeito Doppler: <https://forms.gle/7o6M2EXuZzYdJjGG6>

Figura 144 - Formulário 7.1

Você já viu alguém quebrar uma taça somente com a voz?



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 145 - Formulário 7.2

Observe:



Como você explica a taça ser quebrada com o som? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Ressonância Acústica - YouTube](#)

Figura 146 - Formulário 7.3

Seção 3 de 9

Ressonância

Descrição (opcional)

Todos os materiais possuem, pelo menos uma frequência natural de vibração, que é uma característica do material, de como ele foi construído.

Como a taça, que possui uma frequência natural. Podemos ouvir essa frequência se produzirmos som com a taça e é esse som (com essa frequência) que se deve "cantar" para que ela quebre.

Quando esse material recebe energia por meio de excitações de frequência igual a uma de suas frequências naturais, ele começa a vibrar com amplitudes cada vez maiores e pode romper.

Descrição (opcional)

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 147 - Formulário 7.4

Por exemplo, um balanço que oscila em um ritmo constante.



Desenhos Diversos do Paint

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 148 - Formulário 7.5

Para empurrar o balanço ou fazer impulso, você precisa estar em ressonância com o movimento pendular do balanço, ou seja, neste mesmo ritmo, para fazer com que sua altura do chão aumente.



Um caso muito famoso deste fenômeno foi o rompimento da ponte Tacoma Narrows, nos Estados Unidos, em 7 de novembro de 1940. Veja:



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Ponte Tacoma balança e cai - Ressonância \(PT-BR\) - YouTube](#)

Figura 149 - Formulário 7.6

⋮

Em um determinado momento o vento começou soprar com frequência igual à natural de oscilação da ponte, fazendo com que esta começasse a aumentar a amplitude de suas vibrações até que sua estrutura não pudesse mais suportar, fazendo com que sua estrutura rompesse.

"O caso da ponte Tacoma Narrows pode ser considerado uma falha humana, já que o vento que soprava no dia 7 de Novembro de 1940 tinha uma frequência característica da região onde a ponte foi construída, logo os engenheiros responsáveis por sua construção falharam na análise das características naturais da região. Por isto, atualmente é feita uma análise profunda de todas as possíveis características que possam requerer uma alteração em uma construção civil". (fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/ressonancia.php>. Acesso em 27/03/2020)

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

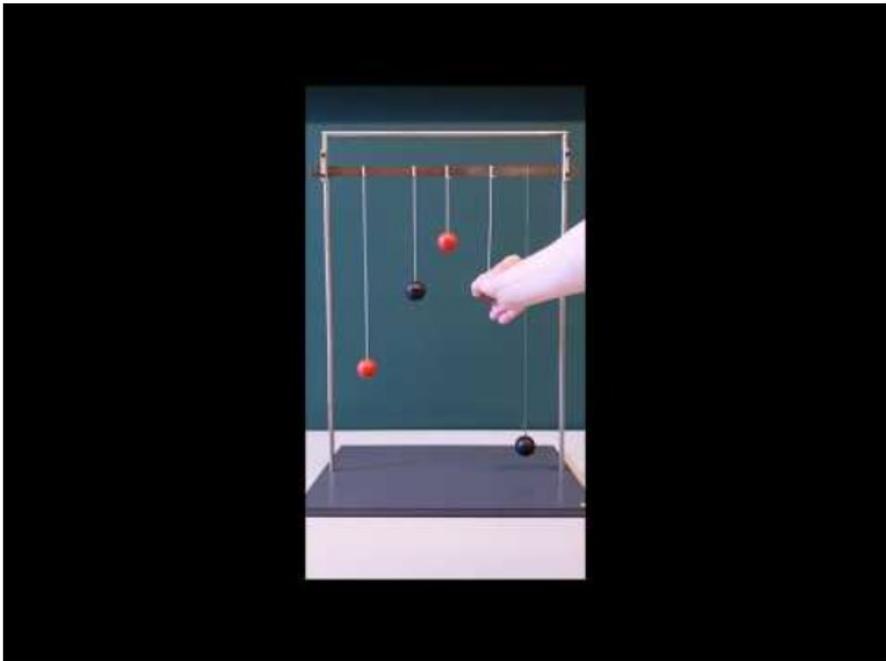
Figura 150 - Formulário 7.7

Seção 4 de 9

Experimento 1

Descrição (opcional)

Observe o vídeo abaixo:



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Resonance with Pendulums - YouTube](#)

Figura 151 - Formulário 7.8

1. O que você observou? Tente explicar com as suas palavras. *

Texto de resposta longa

2. O primeiro pêndulo colocado a oscilar foi o segundo (bolinha vermelha da direita para a esquerda). Depois de alguns segundos, qual pêndulo começa a vibrar (amplitudes maiores) com ele? Qual suas características? *

Texto de resposta longa

3. Utilize o fenômeno da ressonância para tentar explicar porque só esses dois pêndulos oscilaram juntos com amplitudes parecidas. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 152 - Formulário 7.9

Seção 5 de 9

Experimento 2

Descrição (opcional)

Observe o vídeo:

A photograph showing two identical tuning forks standing upright on wooden blocks. The tuning forks are silver-colored metal with two prongs each. The wooden blocks are light brown and rectangular. They are placed on a dark green surface against a plain, light-colored background. The image is framed by a black border, suggesting it is a video player interface.

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Resonance: Tuning Forks -- xmdemo 021 - YouTube](#)

Figura 153 - Formulário 7.10

1. O que você observou? Tente explicar com as suas palavras. *

Texto de resposta longa

2. No vídeo, inicialmente, temos dois diapasões iguais que emitem som com frequências de 440Hz. Por que, ao vibrar um diapasão, o outro também começa a emitir som? *

Texto de resposta longa

3. Na segunda parte do vídeo, foi colocado uma peça a mais em um dos diapasões. O que aconteceu ao repetir o experimento? Explique. *

Texto de resposta longa

4. Utilize o fenômeno da ressonância para explicar esse experimento. *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 154 - Formulário 7.11

Seção 6 de 9

Efeito Doppler

Descrição (opcional)

Você já ouviu falar em Efeito Doppler? *

Sim

Não

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 155 - Formulário 7.12

Assista o vídeo:



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Big Bang A Teoria Sheldon observando o pessoal na festa da Penny Dublado T01E06 - YouTube](#)

Figura 156 - Formulário 7.13

Veja o vídeo abaixo:



Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Link para o vídeo: [Efeito Doppler - YouTube](#)

Figura 157 - Formulário 7.14

O que você observou? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

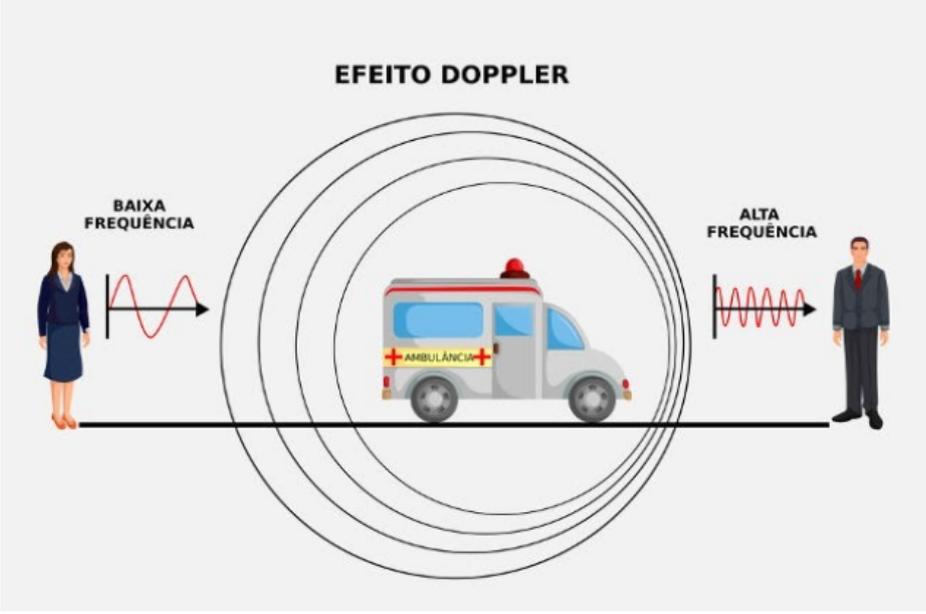
Figura 158 - Formulário 7.15

Seção 7 de 9

Efeito Doppler

Descrição (opcional)

O Efeito Doppler ocorre quando ondas são emitidas por uma fonte em movimento em relação a um observador.



O diagrama, intitulado "EFEITO DOPPLER", ilustra o fenômeno com uma ambulância em movimento para a direita. À esquerda, uma mulher observa ondas sonoras com uma frequência baixa, representada por uma onda com comprimento de onda longo e amplitude moderada, rotulada "BAIXA FREQUÊNCIA". À direita, um homem observa ondas sonoras com uma frequência alta, representada por uma onda com comprimento de onda curto e amplitude moderada, rotulada "ALTA FREQUÊNCIA". A ambulância, com o texto "AMBULÂNCIA" e um símbolo de cruz vermelha, está no centro, emitindo ondas circulares concêntricas que se comprimem à frente e se alongam atrás.

Devido a esse fenômeno, observamos uma variação na frequência do som escutado:

Quando a ambulância se aproxima do observador (lado direito da figura acima), a frequência das ondas na frente dele aumenta, e o observador escuta o som mais agudo.

O oposto ocorre quando a ambulância se afasta, ouvimos o som mais grave pois a frequência das ondas diminui (lado esquerdo da figura).

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 159 - Formulário 7.16

Como pode ser visto na animação abaixo, a distância entre cada uma das linhas (ondas sonoras) a esquerda do carrinho é menor. Isso significa que a frequência dessas ondas é maior se comparadas com as da direita (menor frequência).



⋮

Por meio desse fenômeno é possível saber quando um veículo está se aproximando ou se distanciando de nós, mesmo que não consigamos enxergá-lo diretamente.

Descrição (opcional)

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

Figura 160 - Formulário 7.17

Seção 8 de 9

Pense e pesquise

Descrição (opcional)

Qual a importância do Efeito Doppler? *

Texto de resposta longa

Pesquise uma aplicação do Efeito Doppler. Em que esse fenômeno é usado? *

Texto de resposta longa

Fonte: Elaborado pela autora em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. (2021)

5. 5 MOMENTO 5: INSTRUMENTOS MUSICAIS (PRESENCIAL)

- Atividades práticas sobre instrumentos de cordas e tubos, disponíveis no caderno do aluno.

5. 6 MOMENTO 6: AVALIAÇÃO (PRESENCIAL)

Instrumentos musicais: contextualizando o ensino de acústica

Este instrumento avaliativo é parte da coleta de dados do projeto de dissertação de Caroline Machado Canto, mestranda da Universidade Federal de Santa Catarina, que tem como objetivo a implementação e análise de uma sequência didática para o ensino de física no Ensino Médio. As atividades realizadas foram as seguintes:

1. Mapa mental sobre ondas;
2. Ondulatória: atividade com simulação (Phet);
3. Lista de exercícios 1: ondas;
4. Questionário sobre o som (Kahoot);
5. Ondas sonoras: atividade prática do telefone com fio;
6. Qualidades do som: altura;
7. Qualidades do som: timbre;
8. Qualidades do som: intensidade e nível sonoro;
9. Fenômenos sonoros: Reflexão (Eco, Reverberação e Reforço);
10. Lista de exercícios 2: reflexão;
11. Fenômenos sonoros: Ressonância e Efeito Doppler;
12. Instrumentos musicais: flauta pã;
13. Instrumentos musicais: violão.

1) Classifique os itens de 0 a 5 (0= nada; 1=pouco; 5=muito):

	1	2	3	4	5
Você participou das aulas de ondas e acústica do GSA?					
As aulas foram interessantes?					
Você aprendeu os conteúdos?					
Você teve dificuldades?					
Se você pudesse avaliar o seu desempenho no geral, qual seria a sua nota (de 0 a 5)?					
Que nota (0 a 5) você daria para as aulas de ondas e acústica?					

2) Quais atividades/aulas você lembra de ter participado (1 a 13)?

3) Qual atividade/aula chamou mais a sua atenção (1 a 13)? Por quê?

Segunda parte

- 4) Sobre as ondas:
- a) O que é uma onda?

 - b) Qual a diferença entre:
Onda mecânica: _____
Ondas eletromagnética: _____
- 5) O que você aprendeu sobre o som? O que é? Como se propaga?
-
-
- 6) Sobre as qualidades do som (altura, intensidade e timbre):
- a) Que característica define a altura sonora? _____
som alto= _____
som baixo= _____
 - b) Comente sobre o ultrassom e o infrassom. Se quiser, utilize exemplos.

 - c) Comente sobre a intensidade sonora. O que você aprendeu?

 - d) O que você aprendeu sobre o timbre?

 - e) Alguma qualidade sonora pode prejudicar a saúde? Explique.
- 7) Sobre os fenômenos sonoros:
- a) O que você aprendeu sobre a reflexão sonora?

 - b) Qual a diferença entre eco, reverberação e reforço?
- 8) Instrumentos Musicais:
- a) Qual a diferença entre as notas musicais (dó, ré, mi, fá, sol, lá, sí)?

 - b) O que você aprendeu sobre a física dos instrumentos musicais?
- 9) Faça um comentário sobre as aulas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este produto educacional apresenta uma alternativa ao professor de Física, para abordar conceitos de ondas e acústica no Ensino Médio. Fornece seis planos de aulas, que compõem uma sequência didática que contextualiza tais conceitos com elementos da música e dos instrumentos musicais.

Essas aulas podem ser aplicadas de forma presencial ou podem ser adaptadas para uma aplicação remota. Este produto também traz os materiais necessários para uma possível adaptação, utilizando alguns recursos tecnológicos.

O objetivo desta sequência didática é proporcionar uma aprendizagem significativa aos alunos, por meio da utilização de diversas metodologias mais ativas, que relacionam os conceitos físicos com o seu contexto e com suas ideias iniciais.

Desta forma, este produto educacional visa contribuir com a prática pedagógica do professor, oferecendo diversas possibilidades metodológicas. Ao aplicar em suas aulas, o professor poderá fornecer as condições para que ocorra uma melhor aprendizagem e motivação dos alunos.

REFERÊNCIAS

CAMILLERI, Marie; TRIGUEIROS-CUNHA, Nuno. **RUIDO: ATENÇÃO PERIGO ! PROTECÇÃO**. 2017. Disponível em: <http://www.cochlea.org/po/ruido>. Acesso em: 07 jan. 2022.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, vol 2, 2014.

JULIANI, J. P. **Matemática e Música**. 2003. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Matemática, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

LIMA, J. J. P. **Ouvido, Ondas e Vibrações: Aspectos físicos e biofísicos**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Vol. 2 Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**, 4a ed., Edgard Blucher (2002).

OLIVEIRA, Maurício Pietrocola Pinto De et al. **Física em contextos: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som**. volume 2. 1st. ed. São Paulo - SP: Editora FTD S. A., 2011.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G.; TOLEDO, P. **Os Fundamentos da Física 2**. São Paulo: Moderna, 1997.

YOUNG, H; FREEDMAN, R., **FISICA II. Termodinâmica e Ondas**. 14a ed. São Paulo, Pearson Education do Brasil Ltda., 2015.

ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Caro aluno (a)

Você está sendo convidado(a) a participar da coleta de dados da dissertação de Mestrado intitulada “Instrumentos musicais: contextualizando o ensino de acústica”, que tem como objetivo a implementação e análise de uma sequência didática para o ensino de física no Ensino Médio.

Ensinar física nos dias de hoje tem se tornado um desafio, um dos motivos pode ser a falta de interesse dos alunos em aprender e a dificuldade que apresentam em compreender os conceitos que fazem parte deste campo de estudo. O problema pode estar na forma como os conteúdos são abordados, geralmente distanciados do “mundo” do aluno e vazios de significados. Para ensinar física, muitas vezes, prioriza-se a teoria, a abstração e a utilização de fórmulas matemáticas sem significado físico. Assim, o aprendizado ocorre por meio da memorização das definições e fórmulas e da resolução repetitiva de exercícios, de forma mecânica, sem exigir compreensão do contexto, sem aprofundamento e sem dar conta de novas situações. (BRASIL, 2000).

Uma possível solução para esses problemas é proporcionar um ensino contextualizado com o cotidiano dos alunos. Isso pode ser feito por meio de uma metodologia didática que busque uma aprendizagem ativa e significativa, em que os alunos possam demonstrar interesse e perceber a presença da Física no seu mundo. Assim, será proposta uma alternativa para abordar os conceitos de ondulatória e acústica no Ensino Médio, utilizando diversas metodologias como a construção de instrumentos musicais, atividades práticas e atividades utilizando simulações computacionais e outros recursos tecnológicos.

Os responsáveis por este trabalho são Caroline Machado Canto, mestranda do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFSC, Polo Araranguá, a qual poderá ser contatada a qualquer momento pelo telefone (48)996100471 ou e-mail carolinemachado.fsc@gmail.com, e sua orientadora, Márcia Martins Szortyka, professora da Universidade Federal de Santa Catarina, do centro de Araranguá e do MNPEF/UFSC/ARARANGUÁ.

Os dados, durante a aplicação da sequência didática, poderão ser coletados através dos seguintes instrumentos:

- Registros elaborados pela estudante e pelo professor de Física.
- Gravações em áudio e vídeo das discussões em sala de aula remota.
- Registros escritos pelos alunos.
- Questionários.
- Atividades avaliativas e trabalhos produzidos pelos alunos.

Este material será analisado posteriormente, e será garantido sigilo absoluto sobre o nome dos participantes. As informações obtidas serão analisadas e divulgadas somente quando houver a autorização. Os resultados do trabalho que tem objetivo acadêmico poderão ser divulgados através da dissertação de mestrado, artigos científicos e comunicações em congressos.

Pretende-se que este trabalho traga contribuições para o ensino de Física, possibilitando o desenvolvimento/avaliação de novas metodologias que facilitem a aprendizagem.

É importante ressaltar que não é previsto nenhum risco e/ou desconforto para o participante. Entretanto, é importante ponderar sobre a necessidade de se considerar (sempre) a existências de riscos intrínsecos a atividade de pesquisa. Também deve ser

lembrado que a sequência faz parte das aulas regulares de Física, assim a não concordância com a participação da coleta dos dados não isenta o(a) aluno(a) das atividades da sala de aula que serão ministradas com a participação, supervisão e assistência do professor.

Caso não queira mais que seus dados sejam analisados, você poderá desistir a qualquer momento. Para isso, basta nos contatar através do telefone ou e-mail disponibilizado anteriormente.

Declaração do(a) aluno(a)

Após a leitura do anteriormente exposto, declaro estar suficientemente informado(a) a respeito do trabalho “Instrumentos musicais: contextualizando o ensino de acústica”. Declaro também estar esclarecido acerca dos propósitos do trabalho, dos procedimentos que serão adotados, das garantias de confidencialidade e de que a qualquer momento posso pedir esclarecimentos. Afirmo ter conhecimento também da garantia por parte dos pesquisadores, de acesso à documentação referente ao trabalho, quando assim o desejar, e da possibilidade de retirada do meu consentimento de utilização das informações coletadas sem penalidades ou prejuízos. Para finalizar, eu, _____, RG _____, CPF _____, declaro concordar voluntariamente, em participar da coleta dos dados.

Imbituba, ____ de _____ de 2021,

(assinatura do(a) aluno(a))

PARA MENORES DE 18 ANOS ASSINATURA DO RESPONSÁVEL:

Nome: _____
RG: _____

Assinatura: _____
(assinatura do representante legal do aluno(a))

Declaração do pesquisador

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do sujeito de pesquisa, e do representante legal, para a participação deste trabalho.

Imbituba, ____ de _____ de 2021,

Caroline Machado Canto

ANEXO B – Lista de exercícios 1: Ondulatória

1. (UPE) Nas últimas décadas, o cinema tem produzido inúmeros filmes de ficção científica com cenas de guerras espaciais, como *Guerra nas Estrelas*. Com exceção de *2001, Uma Odisséia no Espaço*, essas cenas apresentam explosões com estrondos impressionantes, além de efeitos luminosos espetaculares, tudo isso no espaço interplanetário.

a. Comparando *Guerra nas Estrelas*, que apresenta efeitos sonoros de explosão, com *2001, uma odisséia no Espaço*, que não os apresenta, qual deles não está de acordo com as leis da Física? Explique sua resposta com suas palavras.

b. E quanto aos efeitos luminosos apresentados por ambos, estão de acordo com as leis Físicas? Justifique.

2. Sobre as ondas, assinale V (verdadeiro) ou F (falso) e justifique as falsas:

a. A velocidade de uma onda em uma corda depende das características mecânicas em que se encontra a corda.

b. O som é um exemplo de onda mecânica transversal.

c. A velocidade de uma onda é igual ao produto do comprimento de onda pela sua frequência.

d. Luz e som são ondas que apresentam, em comum, a característica de se propagarem em qualquer meio.

e. Numa onda transversal a direção de propagação e a direção da perturbação são paralelas

3. Considere uma pessoa batendo periodicamente em um ponto da superfície de um líquido. Uma onda passa a se propagar nessa superfície. Julgue as afirmativas em verdadeiras (V) ou falsas (F):

a. A velocidade de propagação (v) da onda na superfície de um líquido depende do meio. Assim, em líquidos diferentes (água, óleo etc.) teremos velocidades de propagação diferentes.

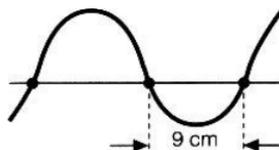
b. A distância entre duas cristas sucessivas é o comprimento de onda.

c. A frequência (f) da onda é igual à frequência da fonte que deu origem à onda.

d. As grandezas v , f e λ estão relacionadas pela equação $\lambda = v/f$ e, portanto, como v é constante para um dado meio, quanto maior for f , menor será o valor de λ neste meio.

4. Uma onda se propaga ao longo de uma corda com frequência de 30Hz, conforme a figura abaixo. Nessas condições, qual sua velocidade e comprimento de onda?

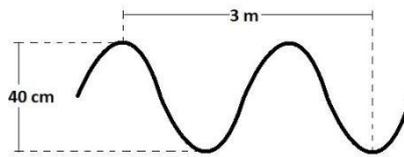
Figura 11 – questão 3



Fonte: disponível em https://loucoporfisica.webnode.com/_files/200000042-25d9f26d47/Conceito-de-onda.154.189.pdf. Acesso em jan. 2022.

5. A figura mostra um trecho de uma onda que se propaga em um fio esticado. A fonte que gera a onda opera com frequência de 20Hz.

Figura 12 – questão 5



Fonte: elaborada pela autora (2020)

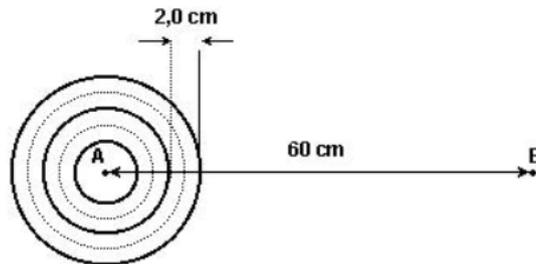
Determine:

- a amplitude da onda;
- seu comprimento de onda;
- a velocidade de propagação da onda no fio.

Desafios:

7. (UFPE) A figura abaixo mostra um aparelho no ponto O que produz ondas de 2 Hz em um lago.

Figura 13 – questão 7



Fonte: disponível em <http://tudodeconcursosevestibulares.blogspot.com/2014/05/questoes-resolvidas-sobre-ondas.html>. Acesso em jan. 2022.

As linhas cheias são as cristas das ondas geradas. A 20 cm distantes do aparelho há um objeto boiando. Qual o tempo necessário para que uma onda criada em O chegue até o objeto?

8. João está em uma extremidade de uma piscina de 6m que possui profundidade constante, na outra extremidade, sua irmã mais nova está sentada na beira da piscina e começa a bater seus pés 30 vezes por minuto constantemente. João observa que:

- A cada batida dos pés de sua irmã, é gerado uma onda;
- Essa onda demora 24s para chegar até ele do outro lado da piscina.

Considerando essas observações, qual o comprimento de onda das ondas formadas na piscina?

ANEXO C – Lista de exercícios 2: Acústica

1. Assinale o que for correto e **justifique** as incorretas:

- a) Ondas sonoras são ondas transversais.
- b) Ondas sonoras se propagam no vácuo com a velocidade da luz.
- c) O som não se propaga no vácuo, porque ele corresponde a uma onda transversal.
- d) Tanto o som como a luz se propagam no vácuo, pois ambos correspondem a ondas longitudinais.
- e) A luz se propaga no vácuo ao contrário do som que necessita de um meio material para a sua propagação.
- f) Um som grave é um som de baixa frequência
- g) O som propaga-se mais rapidamente no ar que nos sólidos.
- i) A altura é a qualidade que permite distinguir um som forte de um som fraco de mesma frequência.
- j) Intensidade é a qualidade que permite distinguir um som agudo de um som grave.
- k) Timbre é a qualidade que permite distinguir dois sons de mesma altura emitidos por fontes diferentes.

2. A que distância devemos estar de um obstáculo para que o eco de nossa voz chegue 0,5s após gritar? (Velocidade do som no ar: 340 m/s)

3. Você está a 68 metros de um paredão vertical bem alto. Se você gritar, em quanto tempo irá ouvir o eco da sua voz? ((Velocidade do som no ar: 340 m/s)

4. O exame de ultrassom funciona quando um aparelho emite ondas sonoras que percorrem o corpo humano e, seus ecos, são utilizados para criar uma imagem. Suponha que a velocidade do som no corpo humano é de 1500m/s, em um intervalo de 0,001s as ondas de ultrassom percorrem que distância?

5. (Cefet-PR - adaptada) Relacione a segunda coluna de acordo com o proposto na primeira coluna:

- (1) Reforço
- (2) Reverberação
- (3) Eco

- Fenômeno que permite ouvir isoladamente o mesmo som emitido e refletido.
- Som direto e som refletido chegam no mesmo instante.
- Percepção do som direto e do som refletido é inferior a 0,1 s.
- Fenômeno utilizado por morcegos que, emitindo e recebendo ultrassons, localizam insetos ou obstáculos.
- Fenômeno sonoro no qual a percepção de dois sons, direto e refletido, deve ser maior que 0,1 s.

6. Uma pessoa, 510 metros distante de um obstáculo refletor, dá um grito e ouve o eco de sua voz. A velocidade do som no ar é de 340 m/s. Qual o tempo gasto entre a emissão do som e o momento em que a pessoa ouve o eco, em segundos?

7. Uma pessoa em um balão em um dia calmo emite um som e ouve o eco depois de 2s. Sabendo que a velocidade do som no ar é de aproximadamente 340m/s, qual a altura que o balão está?

ANEXO D – Avaliação final

Instrumentos musicais: contextualizando o ensino de acústica

Este instrumento avaliativo é parte da coleta de dados do projeto de dissertação de Caroline Machado Canto, mestranda da Universidade Federal de Santa Catarina, que tem como objetivo a implementação e análise de uma sequência didática para o ensino de física no Ensino Médio. As atividades realizadas foram as seguintes:

1. Mapa mental sobre ondas;
2. Ondulatória: atividade com simulação (Phet);
3. Lista de exercícios 1: ondas;
4. Questionário sobre o som (Kahoot);
5. Ondas sonoras: atividade prática telefone com fio;
6. Qualidades do som: altura;
7. Qualidades do som: timbre;
8. Qualidades do som: intensidade e nível sonoro;
9. Fenômenos sonoros: Reflexão (Eco, Reverberação e Reforço);
10. Lista de exercícios 2: reflexão;
11. Fenômenos sonoros: Ressonância e Efeito Doppler;
12. Instrumentos musicais: flauta pã;
13. Instrumentos musicais: violão.

1) Classifique os itens de 0 a 5 (0= nada; 1=pouco; 5=muito):

	1	2	3	4	5
Você participou das aulas de ondas e acústica do GSA?					
As aulas foram interessantes?					
Você aprendeu os conteúdos?					
Você teve dificuldades?					
Se você pudesse avaliar o seu desempenho no geral, qual seria a sua nota (de 0 a 5)?					
Que nota (0 a 5) você daria para as aulas de ondas e acústica?					

2) Quais atividades/aulas você lembra de ter participado (1 a 13)?

3) Qual atividade/aula chamou mais a sua atenção (1 a 13)? Por quê?

Segunda parte

- 4) Sobre as ondas:
- a) O que é uma onda?

 - b) Qual a diferença entre:
Onda mecânica: _____
Ondas eletromagnética: _____
- 5) O que você aprendeu sobre o som? O que é? Como se propaga?
- 6) Sobre as qualidades do som (altura, intensidade e timbre):
- a) Que característica define a altura sonora? _____
som alto= _____
som baixo= _____
 - b) Comente sobre o ultrassom e o infrassom. Se quiser, utilize exemplos.

 - c) Comente sobre a intensidade sonora. O que você aprendeu?

 - d) O que você aprendeu sobre o timbre?

 - e) Alguma qualidade sonora pode prejudicar a saúde? Explique.
- 7) Sobre os fenômenos sonoros:
- a) O que você aprendeu sobre a reflexão sonora?

 - b) Qual a diferença entre eco, reverberação e reforço?
- 8) Instrumentos Musicais:
- a) Qual a diferença entre as notas musicais (dó, ré, mi, fá, sol, lá, si)?

 - b) O que você aprendeu sobre a física dos instrumentos musicais?
- 9) Faça um comentário sobre as aulas.