



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO ARARANGUÁ

Michelle Belmiro Ilibio Comin

Sons que não ouvimos: sequência didática para o ensino de acústica

Araranguá

2023

Michelle Belmiro Ilibio Comin

Sons que não ouvimos: sequência didática para o ensino de acústica

Dissertação apresentada ao polo 41 – UFSC/Araranguá do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica.

Orientador: Doutor Mauricio Girardi

Araranguá

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Comin, Michelle Belmiro Ilibio

Sons que não ouvimos: sequência didática para o ensino de acústica / Michelle Belmiro Ilibio Comin ; orientador, Mauricio Girardi, 2023.

242 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Araranguá, 2023.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de física . 4. Acústica . I. Girardi, Mauricio . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Michelle Belmiro Ilibio Comin

Sons que não ouvimos: sequência didática para o ensino de acústica

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

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Ourique
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Marcelo Freitas de Andrade
Universidade Federal de Santa Catarina

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.

Dr. Marcelo Freitas de Andrade
Coordenador do Mestrado Profissional em Ensino de Física, Polo Araranguá Universidade
Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Mauricio Girardi - Orientador

Orientador
Araranguá, 2023.

Este trabalho é dedicado à memória do meu amado esposo Leonir Comin.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, colegas e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação. Cada um de vocês desempenhou um papel inestimável neste percurso, e as aprendizagens e memórias construídas serão levadas por toda a vida.

Agradeço à minha família e amigos pelo constante apoio, paciência e amor. Vocês são a base que me manteve firme durante os desafios. Em especial ao meu irmão Michel Belmiro Ilibio pela parceria dos “super gêmeos ativar!”

Não posso deixar de agradecer também ao programa de bolsas do estado de Santa Catarina, UNIEDU. A oportunidade proporcionada por este programa foi fundamental para minha formação e para a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

O importante é não parar de questionar. A curiosidade tem sua própria razão de existir. (Albert Einstein)

RESUMO

Este estudo descreve a elaboração e implementação de uma sequência didática voltada ao ensino de Acústica por meio da realização de experimentos e simulações com infrassons e ultrassons (sons inaudíveis), explorando suas origens e efeitos em seres humanos. O principal objetivo é criar um recurso educacional destinado ao aprimoramento do ensino desses temas no Ensino Médio, abrangendo as disciplinas de Biologia e Física. Este projeto surge em resposta às contínuas preocupações sobre como abordar a disciplina de Física, especialmente o tópico da Acústica, enquanto considera a interdisciplinaridade das Ciências Naturais conforme definido na nova Base Nacional Comum Curricular. A fundamentação teórica para o desenvolvimento desta proposta se baseia na Teoria Sociointeracionista de Vygotsky e na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Estas teorias oferecem diretrizes essenciais para otimizar o processo de ensino e aprendizagem, enfatizando a importância da interação social e da conexão do novo conhecimento com o conhecimento prévio do aluno, respectivamente. Além disso, destacam a relevância da construção conjunta do saber e da contextualização das informações em sala de aula, promovendo uma aprendizagem mais eficaz e significativa. A sequência didática foi desenvolvida na Escola de Educação Básica Coronel José Maurício dos Santos em Laguna/SC, no ano de 2022, e foi aplicada aos alunos do 2º ano matutino do Novo Ensino Médio. A turma era composta por 20 alunos regulares, incluindo um aluno com deficiência auditiva, que contou com o apoio de uma professora de libras. Durante a execução dos experimentos, foram realizadas comparações entre os resultados experimentais das grandezas físicas e os resultados obtidos por meio de um software, validando a abordagem experimental e destacando a relevância da sua aplicação em sala de aula. Ao longo da condução da sequência didática, é possível afirmar, com embasamento acadêmico substancial, que o projeto atingiu os objetivos preestabelecidos. Esse êxito foi discernido através da manifesta aquisição de conhecimento e compreensão por parte dos alunos, proporcionando uma validação concreta da eficácia da abordagem experimental no contexto educacional para a promoção de uma aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Ensino de Física; Acústica; Sons Inaudíveis; Sequência Didática

ABSTRACT

This study describes the development and implementation of a didactic sequence aimed at teaching acoustics by carrying out experiments and simulations with infrasounds and ultrasounds (inaudible sounds), exploring their origins and effects on human beings. The main objective is to create an educational resource aimed at improving the teaching of these topics in high school, covering the subjects of biology and physics. This project arises in response to ongoing concerns about how to approach the discipline of Physics, especially the topic of acoustics, while considering the interdisciplinarity of natural sciences as defined in the new National Common Curricular Base. The theoretical foundation for the development of this proposal is based on Vygotsky's Sociointeractionist Theory and Ausubel's Theory of Meaningful Learning. These theories offer essential guidelines for optimizing the teaching and learning process, emphasizing the importance of social interaction and the connection of new knowledge with the student's prior knowledge, respectively. Furthermore, they highlight the relevance of jointly constructing knowledge and contextualizing information in the classroom, promoting more effective and meaningful learning. The didactic sequence was developed at the Escola de Educação Básica Coronel José Maurício dos Santos in Laguna/SC, in the year 2022. The activities were carried out with students in the 2nd year of New High School, in morning period. The class was made up of 20 regular students, including a hearing-impaired student, who had the support of a sign language teacher. During the execution of the experiments, comparisons were made between the experimental results of physical quantities and the results obtained using software, validating the experimental approach and highlighting the relevance of its application in the classroom. Throughout the didactic sequence, it is possible to affirm, with substantial academic basis, that the project achieved the pre-established objectives. This success was discerned through the students' clear acquisition of knowledge and understanding, providing concrete validation of the effectiveness of the experimental approach in the educational context for promoting meaningful learning.

Keywords: Physics Teaching; Acoustics; Inaudible Sounds; Following Teaching

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de ondas mecânicas	42
Figura 2 - Perfil de uma onda senoidal.....	43
Figura 3 - Forças em uma corda esticada	44
Figura 4 - Ciclo do mecanismo da onda sonora	46
Figura 5 - Uma onda senoidal longitudinal deslocando-se para a direita em um fluido	47
Figura 6 - Variação de Volume.....	50
Figura 7 - Velocidade do som em diversos materiais	52
Figura 8 - Instantâneo da propagação simulada de uma onda sonora de 100 Hz na presença de um meio que se move da esquerda para direita a 102,9 m/s.....	53
Figura 9 - Níveis de intensidade sonora de diversas fontes (valores típicos)	55
Figura 10 - Ouvinte em movimento, fonte estacionária	56
Figura 11 - Fonte e ouvinte em movimento	57
Figura 12 - Espectro audível dos seres humanos	59
Figura 13 - Anatomia do ouvido	68
Figura 14 - Anatomia e Física do Ouvido	70
Figura 15 - Estrutura anatômica da orelha interna	71
Figura 16- Células ciliadas internas e externas no Órgão de Corti.....	72
Figura 17 - Formação básica do Novo Ensino Médio.....	83
Figura 18 - Parte flexível do Novo Ensino Médio.....	83

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Fontes naturais e artificiais de infrassom	62
Imagem 2 - Fonte natural de ultrassom	64
Imagem 3 - Fonte artificial de ultrassom	65
Imagem 4 - Escola de Educação Básica Coronel José Maurício dos Santos	82
Imagem 5 - Registro fotográfico da Sequência Didática	86
Imagem 6 - Registro fotográfico da Sequência Didática	87
Imagem 7 - Registro fotográfico da Sequência Didática	88
Imagem 8 - Registro fotográfico da Sequência Didática	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dissertações e teses obtidas a partir do banco de dados da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), de acordo com os descritores	16
Tabela 2 - Trabalhos selecionados a partir do levantamento na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).....	17
Tabela 3 - Cronograma de Implementação da Sequência Didática.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	Aprendizagem Baseada em Projetos
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CBTC	Currículo Base Território Catarinense
LDB	Lei de Diretrizes e Base
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional Ensino Física
MHS	Movimento Harmônico Simples
NEM	Novo Ensino Médio
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SD	Sequência Didática
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNIEDU	Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 METODOLOGIA.....	15
2.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	17
2.3 DISCUSSÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS	21
3. REFERENCIAL TEÓRICO	28
3.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SOCIOINTERACIONISTA DE LEV VYGOTSKY	28
3.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL	31
3.3 CONEXÕES ENTRE AS TEORIAS DE VYGOTSKY E AUSUBEL.....	34
3.4 REFERENCIAL METODOLÓGICO: SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	36
4 REVISÃO DOS CONCEITOS FÍSICOS	40
4.1 ONDULATÓRIA.....	40
4.1.1 Movimento Harmônico Simples (MHS) e Ondas Periódicas	42
4.1.2 Descrição Matemática das Ondas	43
4.2 ACÚSTICA: ONDAS SONORAS.....	45
4.2.1 Relação entre Ondas Sonoras, Densidade, Pressão e Deslocamento	48
4.2.2 Velocidade do Som	51
4.2.2.1 <i>Efeito do movimento do fluído</i>	52
4.2.3 Intensidade Sonora	53
4.2.4 A Escala Decibel (dB)	55
4.2.5 Efeito Doppler	56
4.3 SONS INAUDÍVEIS: INFRASSONS E ULTRASSONS	59
4.3.1 Infrassom: o mundo das baixas frequências	61
4.3.2 Ultrassons: explorando a alta frequência	64
4.4 BIOACÚSTICA: SOM E OUVIDO	67
4.4.1 O ouvido humano	68
5. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	74
5.1 METODOLOGIA.....	74
5.2 ESCOLHA DO TEMA.....	74
5.3 APROPRIAÇÃO DO TEMA.....	75
5.4 CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	76
5.4.1 Primeiro Momento – Introdução à Acústica.....	76
5.4.2 Segundo Momento – Ondas Sonoras.....	77
5.4.3 Terceiro Momento - Sons Inaudíveis - Infrassons e Ultrassons	78

5.4.4 Quarto Momento – Bioacústica: Os mistérios do Som no Sistema Auditivo	79
5.4.5 Quinto Momento - Verificação de Aprendizagem	80
5.5 IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	80
5.5.1 Unidade escolar e público-alvo:.....	81
5.5.2 O novo Ensino Médio	82
5.5.3 Aplicação do produto educacional	84
5.6 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	91
5.6.1 Análise das respostas obtidas no questionário inicial.	92
5.6.2 Participação e interesses dos alunos pela sequência didática	94
5.6.3 Análise da verificação de aprendizagem	95
5.6.4 Análise da discussão final da proposta	100
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS.....	104
APÊNDICES – PRODUTO EDUCACIONAL.....	111

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho conduz uma análise do processo de concepção, desenvolvimento e implementação de uma sequência didática direcionada ao ensino de Acústica, na qual é incorporada uma série ordenada de atividades teóricas e práticas articuladas com a realização de experimentos e simulações planejadas para uma investigação interativa dos fenômenos acústicos, com especial atenção aos infrassons e ultrassons, sons imperceptíveis ao ouvido humano, mas com relevância em diversos campos da ciência e tecnologia.

O ensino de Física pode ser mais interessante e eficaz se for baseado em métodos didáticos que estimulem a participação ativa dos alunos, a experimentação, a contextualização e a interdisciplinaridade. Nesse sentido, percebendo a necessidade de reavaliar e inovar nas estratégias pedagógicas, assegurando que estas incorporem elementos cruciais, como motivação, aporte teórico, atividades experimentais e representações práticas de diversos fenômenos físicos, este estudo posiciona-se em consonância com as demandas contemporâneas do ensino de Física, buscando contribuir de forma ativa para a elaboração de materiais e métodos didáticos que otimizem a aprendizagem dos alunos.

Reconhecendo que quando se ensina Acústica é importante mostrar as aplicações práticas e cotidianas dos conceitos e fenômenos estudados utilizando uma linguagem adequada ao nível dos alunos, a fim de que estes possam desenvolver o raciocínio lógico, a criatividade e o interesse pela ciência, este estudo parte das preocupações que emergem no contexto do ensino de Física, especificamente no domínio do tópico relacionado à acústica, e da urgente necessidade de adotar uma abordagem pedagógica mais efetiva e significativa.

O objetivo deste trabalho é proporcionar ao professor de Física uma metodologia alternativa para o ensino de Acústica, utilizando uma sequência didática que engloba atividades experimentais, simulações computacionais, recursos tecnológicos e materiais textuais, oportunizando aos alunos do segundo ano do ensino médio uma aprendizagem significativa, contextualizada e inclusiva dos conceitos e fenômenos associados à acústica, a partir da exploração das ondas sonoras nas frequências de infrassom e ultrassom, ou seja, aquelas abaixo e acima do espectro audível humano, potencializando assim a prática e a integração do conhecimento.

No desenvolvimento deste trabalho, buscou-se contemplar a perspectiva de promover a interdisciplinaridade delineada na atual Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018). Ao explorar as características dos sons imperceptíveis ao ouvido humano, a sequência permite aos alunos investigarem o funcionamento do sistema auditivo. Dessa forma, ao integrar o estudo dos sons inaudíveis ao sistema auditivo, a sequência propõe uma abordagem educacional interdisciplinar. Tal abordagem não apenas amplia a compreensão dos alunos acerca dos fenômenos acústicos, mas também os introduz à biologia e à fisiologia do ouvido, capacitando-os para um entendimento mais integrado das Ciências Naturais.

Em consonância com o objetivo proposto, a base teórica que orientou a construção da sequência didática fundamentou-se em duas referências teóricas do processo de ensino e aprendizagem: a teoria Sociointeracionista articulada por Vygotsky e a teoria da Aprendizagem Significativa delineada por Ausubel.

A Teoria Sociointeracionista de Vygotsky destaca a importância das interações sociais no processo de aprendizagem, postulando que o conhecimento é construído de forma colaborativa, por meio da troca de ideias e da interação entre alunos e professores (Moreira, 1999). No âmbito desta sequência didática, ao analisar coletivamente os fenômenos dos infrassons e ultrassons, esta perspectiva teórica se torna especialmente pertinente, ao permitir aos alunos o debate e compartilhamento das observações no decorrer das atividades propostas, o que potencializa a construção conjunta do conhecimento.

Por sua vez, a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, destaca a importância de relacionar o novo conhecimento com conceitos prévios já adquiridos. Ela propõe que a aprendizagem é mais eficaz quando os novos conteúdos são integrados ao conhecimento prévio do aluno, tornando-se significativos para ele (Moreira, 1999). No contexto desta proposta, isso implica a criação de conexões entre os conceitos de acústica, infrassons e ultrassons e os conhecimentos prévios dos alunos em Biologia e Física. Ao fazê-lo, busca-se não apenas apresentar informações novas, mas também ancorá-las em uma estrutura cognitiva já existente, o que torna a aprendizagem mais profunda e duradoura.

Este trabalho foi estruturado visando clareza e objetividade ao leitor, assim, a introdução apresenta as motivações, objetivo e relevância da pesquisa; a revisão bibliográfica, com foco nas dissertações e teses dos últimos dez anos (2013-2023), examina estudos relevantes ao tema; o terceiro capítulo aborda o embasamento

teórico, focando nas teorias de Vygotsky e Ausubel, e evidenciando as interações entre elas; o quarto capítulo se concentra nos conceitos chave da física, explorando som, infrassons, ultrassons e sua relação com a biofísica; o desenvolvimento do produto educacional é descrito no quinto capítulo, enfatizando a sequência didática proposta; no sexto capítulo, é realizada a análise dos dados, seguida de uma discussão sobre os resultados no sétimo capítulo. As considerações finais resumem as principais conclusões da pesquisa e apontam para possíveis direções de estudos futuros. O trabalho é complementado por referências, apêndices e anexos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os estudos de revisão têm como propósito a organização, esclarecimento e resumo das obras mais importantes existentes em uma determinada área, além de fornecer citações completas que abrangem a gama de literatura relevante nesse campo. As revisões de literatura podem abranger uma análise histórica de um tema ou assunto, considerando as publicações que moldaram o campo (Vosgerau; Romanowski, 2014).

A revisão de literatura na área da educação desempenha um papel crucial na criação de um contexto de diálogo mais abrangente para a pesquisa. Isso não apenas permite avançar no campo da educação, mas também contribui para a construção de um corpo de conhecimento mais sólido, capaz de aprofundar a compreensão de problemas comuns na educação que não se limitam às influências de contextos de pesquisa isolados e restritos (Mattar; Ramos, 2021).

Neste estudo, optou-se por realizar uma revisão de literatura, mantendo um nível apropriado de profundidade. O objetivo foi coletar e organizar um mapeamento conciso do conhecimento atual sobre o ensino de Acústica com ultrassons e infrassons (sons inaudíveis), reconhecendo a importância das revisões na construção de um corpo de conhecimento sólido e na ampliação do diálogo na área da educação.

2.1 METODOLOGIA

O levantamento da produção acadêmica nacional teve como foco os sons inaudíveis (infrassons e ultrassons) no contexto do ensino de acústica. A pesquisa foi conduzida utilizando a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD)¹, coordenada pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) como fonte de dados. Para realizar essa busca, foram utilizadas as palavras-chave "ensino de acústica", "som* inaudível*", "infrassom*" e "ultrassom*".

A revisão de literatura descrita utilizou a página "busca avançada", considerando que esta apresenta vários campos de busca. Em cada campo pode-se

¹ Conforme descrito no website da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), o banco de dados integra os sistemas de informação de teses e dissertações existentes nas instituições de ensino e pesquisa do Brasil, e também estimula o registro e a publicação de teses e dissertações em meio eletrônico. Disponível em: <https://bdttd.ibict.br/vufind/>

digitar termos, a qual deseja buscar itens, relacionando-os a determinado metadado, podendo fazer uso de operadores de busca. Pode-se selecionar o tipo de metadado (título, autor, etc.) para cada campo de busca, tornando a busca mais precisa.

No campo “busca por” foram inseridos os descritores (“ensino de acústica”, “som inaudível*”, “infrassom*” e “ultrassom*”), selecionando no campo “correspondência de busca” a opção “TODOS os termos”. Para os descritores “som inaudível*”, “ultrassom*” e “infrassom*” note que se utilizou o caractere curinga “*”, para que a busca contemplasse, “sons inaudíveis”, “ultrassons”, “ultrassônicos”, “ultrassônicas”, “infrassons”, “infrassônicas”, “infrassônicos” e outros termos semelhantes.

Optou-se por uma revisão de literatura com foco nos últimos dez anos (2013-2023) para mapear o conhecimento atual sobre o ensino de acústica com ultrassons e infrassons (sons inaudíveis). Essa delimitação temporal foi adotada para garantir a relevância e atualidade das fontes selecionadas. No campo “limitar a”, “Ano de Defesa”, na opção “de” foi adicionado “2013”, e na opção “até” foi definido “2023”.

Como resultado desta estratégia de busca, identificou-se um total de 200 trabalhos relacionados ao "ensino de acústica", 03 trabalhos envolvendo "som inaudível*", além de 02 trabalhos abordando "infrassom*" e 2.023 trabalhos focados em "ultrassom*", conforme apresentado em detalhes na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1- Dissertações e teses obtidas a partir do banco de dados da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), de acordo com os descritores

Banco de Dados	Descritores	Dissertações	Teses	Total
Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações	“Ensino de Acústica”	162	38	200
	“Som Inaudível*”	0	3	3
	“Infrassom*”	2	0	2
	“Ultrassom*”	1.033	690	2023

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Observa-se que a maior parte dos trabalhos encontrados são dissertações de mestrado, representando uma parcela significativa de 84% do total, enquanto as teses de doutorado correspondem a uma proporção menor, equivalendo a 16% das pesquisas identificadas. Assim, de posse da análise dos dados da tabela acima, será abordado de forma mais específica, cada um dos resultados obtidos.

Após a conclusão da fase de levantamento, prosseguiu-se para a etapa subsequente, que consistiu na seleção dos trabalhos. Nessa etapa, foram estabelecidos os seguintes critérios de exclusão: a) primeiramente, foi realizada a eliminação de resultados duplicados; b) em seguida, os resultados que não se alinhavam com as palavras-chave buscadas foram excluídos após a análise dos títulos dos trabalhos. c) por último, procedeu-se à leitura dos resumos para identificar as pesquisas que não estavam em sintonia com a temática pesquisada, que é "Sons que não ouvimos: sequência didática para o ensino de acústica." Esses critérios foram aplicados sucessivamente para garantir a seleção de trabalhos relevantes para a pesquisa em questão.

Com base nos critérios de exclusão, foi constatado que um total de 1998 estudos, não atenderam aos parâmetros da temática de pesquisa em questão e, portanto, foram excluídos da análise. Esse amplo conjunto de estudos descartados abrange principalmente pesquisas dedicadas ao estudo dos ultrassons, com aplicações predominantemente nas áreas da medicina e da indústria.

Essa exclusão significativa sugere que uma parcela substancial do corpo de literatura identificado durante o levantamento inicial estava focada em aspectos dos ultrassons que não estavam diretamente relacionados à temática central da pesquisa, que é "Sons que não ouvimos: sequência didática para o ensino de acústica." Portanto, esses estudos foram considerados não pertinentes à investigação em andamento, reforçando a importância da aplicação rigorosa dos critérios de exclusão para concentrar a análise em trabalhos que se alinhem especificamente com os objetivos e o escopo da pesquisa em acústica educacional.

2.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A tabela 2 a seguir apresenta as pesquisas selecionadas, organizadas por ano de publicação, nome do(a) autor(a), instituição de obtenção de título e natureza do trabalho defendido.

Tabela 2 - Trabalhos selecionados a partir do levantamento na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

Nº	Ano	Autor	Título	Instituição	Dissertação/ Tese
----	-----	-------	--------	-------------	----------------------

1	2013	CHIERECCI, Ricardo.	O som da Física - a presença essencial da música no aprendizado da acústica	USP	Dissertação
2	2013	CARMO, Rodrigo Salvadori Baptista do.	Ambiente virtual de aprendizagem em ondas e acústica para auxiliar o processo ensino e aprendizagem da Física no ensino médio	UFSCAR	Dissertação
3	2013	PEREIRA, Rodrigo Machado.	Abordagem ativa da acústica no ensino médio com a confecção de artefatos musicais pelos alunos	UFSCAR	Dissertação
4	2015	CASTRO, Jederson Willian Pereira de.	Inclusão no ensino de Física: o ensino das qualidades fisiológicas do som para alunos surdos e ouvintes	UFLA	Dissertação
5	2016	LERIAS, Washington Roberto.	A física da música e a pluralidade didática	UTFPR	Dissertação
6	2016	SANTOS, Laelton Lima dos.	O uso de recursos da plataforma <i>moodle</i> no ensino de ondulatória e acústica a turmas da segunda série do ensino médio.	UNB	Dissertação
7	2016	BATISTA, João Lucas de Paula.	Uma proposta de ensino de acústica a partir da análise dos timbres de instrumentos musicais do samba	UFU	Dissertação
8	2016	RODRIGUES, Ernani Vassoler.	Atividades para o aprendizado de acústica	UFES	Dissertação
9	2016	MARTINS, Fernando Alves.	Desenvolvendo um software com animações computacionais para o ensino de fenômenos ondulatórios.	UFV	Dissertação
10	2016	SANTOS, José Rafael dos.	Aprendizagem ativa: uma proposta para o ensino de luz e som	UFS	Dissertação
11	2017	SILVA, Douglas Krüger da.	A física e os instrumentos musicais construindo significados em uma aula de acústica	UFRGS	Dissertação
12	2017	MAZETI,	Sequência didática: uma	UFSCAR	Dissertação

		Lucas Jesus Bettiol.	alternativa para o ensino de acústica para o ensino médio		
13	2017	STINGLIN, Douglas da Costa.	Relações entre a percepção musical e o ensino das características das ondas sonoras	UTFPR	Dissertação
14	2017	SOUZA, Helcio Mezzetti de.	O ultrassom para o Ensino Médio através da teoria da aprendizagem significativa	UFABC	Dissertação
15	2018	SILVA, José Alex Viana da.	Banda sustentável: confecção de instrumentos musicais no ensino da acústica	UNB	Dissertação
16	2018	REIN, Elano Gustavo.	UEPS para acústica: uma nova melodia de ensino	UEPG	Dissertação
17	2018	COSTA, Maxmyller Rezende.	Avaliação e ensino de ondulatória, acústica e movimento harmônico simples usando contexto musical e jogo de tabuleiro	UFRN	Dissertação
18	2019	COSTA JUNIOR, Jose de Oliveira.	Paisagens sonoras, música e indústria cultural: uma proposta educacional para o ensino médio	UTFPR	Dissertação
19	2019	NUNES, Raimundo Helison Gilo.	Uma proposta didática de ensino de ondas auxiliada pela construção e aplicabilidade do tubo de Kundt para o estudo da acústica	UFERSA	Dissertação
20	2019	ARAUJO, Ramón Vieira.	Implementação de metodologias ativas: aprendizagem baseada em projetos em aulas de Física sobre acústica no ensino médio à luz dos campos conceituais	UFRGS	Dissertação
21	2019	MACIEL NETO, Airton dos Santos.	Sequência didática para a aprendizagem significativa da acústica física e da acústica musical, relativas aos tubos sonoros, utilizando organizadores prévios e atividades experimentais	UFRPE	Dissertação

			com o tubo de Kundt		
22	2019	FREITAS, Paulo Henrique.	Tubo de diretividade sonora (TDS): confecção de um modelo experimental para o estudo da acústica	UFSC	Dissertação
23	2020	DECIAN, Emanoela.	O estudo da acústica a partir de unidades de ensino potencialmente significativas: contribuições para uma aprendizagem significativa	UFSM	Dissertação
24	2020	SILVA, Wiverson Moura.	A acústica no ensino fundamental: uma abordagem investigativa utilizando instrumentos musicais	UNESP	Dissertação
25	2021	SCHMIDT, Debora Regina.	Uma proposta de sequência didática para o estudo da acústica no ensino médio	UTFPR	Dissertação
26	2022	MORAES, Vinícius de Oliveira.	Unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas por meio da análise experimental da kalimba	UFRPE	Dissertação
27	2022	RIZZO, Adrian Luiz.	Aprendizagem baseada em projetos no ensino de Física: uma proposta de website como recurso potencialmente significativo no estudo de acústica	UFRGS	Dissertação
28	2022	CANTO, Caroline Machado.	Instrumentos musicais: contextualizando o ensino de acústica	UFSC	Dissertação
29	2022	FLORA FILHO, Fernando.	Síntese de som: uma proposta de ensino para funções periódicas	UFSCAR	Dissertação
30	2022	SILVA, Silvio Oliveira Costa.	Construção de um tubo de Kundt controlado por Arduino para o ensino de ondas estacionárias	UFS	Dissertação

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Com base na análise dos estudos selecionados, de acordo com os dados apresentados na tabela 2, é possível observar que a produção de pesquisas relacionadas à temática de interesse tem mantido um certo equilíbrio nas publicações no período compreendido entre os anos de 2013 e 2022. Vale ressaltar que, no ano de 2014, não foi identificada a publicação de nenhuma pesquisa que atendesse aos critérios de seleção estabelecidos. É importante notar que o ano de 2023 não foi considerado nesta análise, uma vez que as bases de dados podem ainda não ter incluído todas as publicações *stricto sensu* referentes a esse ano.

Além disso, é interessante observar que existe uma predominância significativa de pesquisas desenvolvidas em nível de mestrado. Todos os 30 estudos selecionados para esta análise são dissertações. Quanto à filiação institucional das pesquisas selecionadas, nota-se que a maioria dos estudos está vinculada a universidades federais, totalizando 27 pesquisas. Em contraste, apenas três estudos estão associados a universidades estaduais.

Foi possível identificar, ainda, que dentre as trinta pesquisas selecionadas pelo levantamento realizado, a maioria é proveniente das regiões Sul e Sudeste do Brasil, com ambas as regiões se destacando com 11 (onze) pesquisas publicadas cada uma. A região Nordeste, por sua vez, contribui com 6 (seis) pesquisas, enquanto a região Centro-Oeste apresenta 2 (duas) publicações, evidenciando uma representatividade menos expressiva em comparação com as regiões Sul e Sudeste. Esses números refletem a distribuição geográfica das pesquisas relacionadas à temática em questão no país.

2.3 DISCUSSÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS

Os estudos conduzidos por Chierecci (2013), Carmo (2013) e Pereira (2013) ressaltam a importância de abordagens pedagógicas inovadoras no ensino da Física. No trabalho de Chierecci (2013), é enfatizada a integração entre Física e Música como um meio de enriquecer a experiência educacional dos alunos. Isso se traduz em uma educação mais significativa e abrangente. Por outro lado, Carmo (2013) destaca a introdução de experimentos práticos nas aulas de Física como uma forma de desenvolver habilidades para além das aulas teóricas tradicionais, para isso o estudo detalha a criação de um kit experimental baseado no tubo de Kundt, utilizando a plataforma Arduino, para ensinar conceitos de ondas e acústica de maneira prática.

Por sua vez, Pereira (2013) descreve uma abordagem de ensino ativo que integra Acústica e Música, envolvendo alunos do Ensino Médio na criação de artefatos sonoros de baixo custo. Baseada no enfoque socioconstrutivista de Kuhn, essa abordagem promove a contextualização social do conhecimento, a cooperação entre os alunos e a mediação do professor na Zona de Desenvolvimento Proximal. Além disso, a utilização de Tecnologias da Informação e Comunicação e a integração com Ciência, Cultura e Sociedade são estratégias adicionais do autor.

O estudo de Castro (2015) buscou promover a aprendizagem das qualidades fisiológicas do som de forma inclusiva em uma escola de ensino regular em Minas Gerais, atendendo tanto aos alunos surdos quanto aos ouvintes. Foi desenvolvida uma sequência metodológica e material didático específico para os alunos surdos, baseando-se nas teorias de aprendizagem significativa de Ausubel e na interação social de Vygotsky. Essa abordagem permitiu aos alunos surdos compreenderem o som e suas qualidades por meio do tato e da visão, utilizando Tecnologia Assistiva e material traduzido e sinalizado em Libras.

Os estudos de Lérias (2016), Santos (2016), e Batista (2016) se destacam por apresentar abordagens inovadoras no ensino de Física. Lérias (2016) propôs uma sequência didática que faz uso da música como agente motivacional para o aprendizado de Física. Nesse estudo, uma variedade de recursos didáticos, como quadro giz, instrumentos musicais, softwares, simuladores, imagens, animações, videoaulas, entre outros, foram empregados para oferecer uma pluralidade didática adaptada dos princípios da pluralidade metodológica de Paul Feyerabend.

Santos (2016) evidenciou os desafios de ensinar conteúdos extensos de Física no Ensino Médio, considerando a limitação de tempo. Para isso, propôs a utilização de Educação a Distância, por meio da plataforma Moodle, para abordar parte do conteúdo de Ondulatória e Teoria do Som. Por sua vez, Batista (2016) concentrou-se na criação de um vídeo educativo enfocando o ensino do timbre no Ensino Médio de maneira contextualizada e interdisciplinar, incorporando ao estudo a modelagem matemática dos timbres e a exploração dos fractais, enriquecendo ainda mais o conteúdo abordado, evidenciando-se a importância da formação continuada, especialmente no contexto da lei nº 10.639/03, da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) e de temas transversais.

Os estudos de Rodrigues (2016), Martins (2016) e Santos (2016a) exploram abordagens inovadoras no ensino de Física: Rodrigues (2016) desenvolveu um

produto educacional envolvendo conceitos de Acústica, utilizando smartphones, placas controladoras Arduino e a construção de instrumentos musicais. A pesquisa se baseou na teoria da Mudança Conceitual de DiSessa, que enfatiza a revisão constante e adaptação de conceitos. A avaliação incluiu análise das habilidades dos alunos, mapas mentais, redes de associações e entrevistas em grupo. Martins (2016) concentrou-se no desenvolvimento de um software para o ensino de ondulatória, com base na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Trata-se de um estudo qualitativo que demonstrou que o software motivou os alunos e contribuiu para o processo de aprendizagem. Santos (2016a) discutiu uma unidade de ensino para tratar de conceitos de ondulatória. A pesquisa envolveu questionários sobre o perfil dos alunos, pré-testes e pós-testes de concepções, além da aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). A UEPS utilizou diversos recursos, como vídeos, simulações, instruções por colegas e mapas conceituais, com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa.

Os estudos de Souza (2017), Silva (2017), Mazeti (2017) e Stinglin (2017) abordam diferentes abordagens para o ensino de acústica e ondas sonoras: Souza (2017) propôs uma sequência de aulas visando conectar o estudo do ultrassom no Ensino Médio com sua aplicação tecnológica. A metodologia incluiu uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), um vídeo sobre o uso do ultrassom para detecção de falhas estruturais e um experimento prático, visando reduzir a distância entre o conhecimento teórico e a aplicação tecnológica do ultrassom. Silva (2017) abordou o conteúdo de acústica de forma menos tradicional, utilizando instrumentos musicais como violão, guitarra, flauta, xilofone, entre outros. Através de ondas estacionárias em tubos sonoros e cordas vibrantes, os conceitos de altura, intensidade e timbre foram elucidados, relacionando-os com os princípios das ondas.

Mazeti (2017) desenvolveu uma sequência didática baseada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para o ensino de acústica. A proposta foi implementada em uma turma do ensino médio. O material desenvolvido, uma vez que foi montado em módulos, facilita a aplicação em sala de aula podendo ser adaptado à realidade do professor. Stinglin (2017) aplicou uma sequência didática em uma turma de primeiro ano do ensino médio, contextualizando os conceitos de acústica na audição de música e na vivência com a poluição sonora. A abordagem baseou-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

Os estudos de Silva (2018), Rein (2018), e Costa (2018) destacam a importância de abordagens criativas e envolventes no ensino de acústica a fim de motivar os alunos a se interessarem pela Física. Silva (2018) propõe uma abordagem que envolve a construção de instrumentos musicais baseados nos naipes de uma orquestra, como cordofones, idiofones, aerofones e membranofones. A metodologia buscou promover um ensino dialógico e temático, integrando os conceitos de Física e Música. A atividade foi desenvolvida com estudantes do ensino médio em uma escola privada, gerando uma sequência didática que incluiu a construção de instrumentos, coleta de grandezas físicas e uso dos instrumentos em uma banda musical.

Rein (2018) aborda o ensino de Acústica com foco na motivação dos alunos, relacionando os conceitos de acústica com o cotidiano e a música. A proposta utiliza uma abordagem histórica e cultural, além do uso de tecnologias e experiências práticas. O estudo foi realizado com adolescentes em recuperação em uma Comunidade Terapêutica. Costa (2018) propôs uma metodologia para o ensino de ondulatória, acústica e movimento harmônico simples (M.H.S.) utilizando o contexto musical e jogos de tabuleiro. A abordagem visou ajudar os professores a lidarem com concepções alternativas dos alunos, oferecendo uma metodologia simples e lúdica.

Os estudos de Costa Junior (2019), Nunes (2019), Araujo (2019), Maciel Neto (2019) e Freitas (2019) envolvem práticas experimentais, projetos, análise de paisagens sonoras e o uso de tecnologias educacionais para tornar o aprendizado mais significativo e envolvente para os estudantes nas aulas Física.

Costa Junior (2019) propôs uma abordagem educacional envolvendo a análise de paisagens sonoras, música e a Indústria Cultural em sala de aula. A pesquisa buscou promover a sensibilidade auditiva crítica dos estudantes, permitindo discussões sobre temas do cotidiano e fornecendo subsídios para analisar e criticar a Indústria Cultural. A proposta foi implementada com estudantes do Ensino Médio e da Educação de Jovens e Adultos, com base em teorias como a Teoria Crítica e estudos sobre paisagens sonoras. Nunes (2019) relata uma proposta didática que envolveu a construção de um experimento relacionado a ondas sonoras em tubos abertos. A pesquisa utilizou a Aprendizagem Significativa de Ausubel e a perspectiva sociointeracionista de Vygotsky como fundamentos teóricos.

Araujo (2019) apresentou uma sequência didática utilizando a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) para ensinar acústica no Ensino Médio. A abordagem

contemplou a construção de instrumentos musicais pelos estudantes. Maciel Neto (2019) desenvolveu uma sequência didática investigativa para o ensino de Acústica Física e acústica musical em tubos sonoros, baseando-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. A proposta utilizou organizadores prévios e atividades experimentais, permitindo que os alunos participassem ativamente do processo de aprendizagem. Freitas (2019) propôs a construção de um modelo experimental chamado Tubo de Diretividade Sonora (TDS) para o estudo da acústica. A pesquisa integrou o uso de smartphones com materiais de baixo custo, como garrafas PET e canos de PVC, para realizar experimentos de acústica. A abordagem aproveitou o potencial das tecnologias móveis como ferramentas didáticas.

Os estudos de Decian (2020) e Silva (2020) apresentam abordagens para o ensino da acústica, visando promover uma aprendizagem significativa dos estudantes: Decian (2020) concentrou-se na elaboração e implementação de UEPS relacionadas aos conceitos de Acústica utilizando as teorias da Aprendizagem Significativa de Ausubel e da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira. O estudo buscou entender como a implementação de UEPS pode favorecer a aprendizagem significativa de estudantes do segundo ano do Ensino Médio em uma escola pública em Santa Maria/RS. Silva (2020) abordou a importância do ensino da acústica no ensino fundamental, considerando que esse tema é tratado superficialmente nas escolas. O estudo propôs o desenvolvimento de um material didático utilizando a metodologia do Ensino Investigativo (EI), para auxiliar os professores e despertar o interesse dos alunos, utilizando a música e suas aplicações na vida cotidiana.

O estudo realizado por Lima (2021) concentra-se na criação e implementação de uma Sequência Didática para o Ensino de Acústica. A sequência foi desenvolvida de forma remota e com a realização de aulas síncronas e assíncronas, utilizando atividades e experimentos em ambientes virtuais. A elaboração da Sequência Didática apoiou-se em fundamentos teóricos da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel.

Moraes (2022), Rizzo (2022), Canto (2022), Flora Filho (2022) e Silva (2022) demonstram diferentes abordagens para tornar o ensino da Acústica e da Física mais significativo e envolvente, utilizando recursos variados, como instrumentos musicais, tecnologia, aprendizagem baseada em projetos e experimentação prática. Moraes (2022) se concentrou na criação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) usando a kalimba, um instrumento musical, para explorar

conceitos de vibração de barras homogêneas. Os alunos tiveram a oportunidade de manipular o instrumento e entender a relação entre frequência de vibração e comprimento da lâmina. A pesquisa demonstrou que a abordagem permitiu que os alunos relacionassem conceitos físicos e musicais, reforçando a aprendizagem significativa.

Rizzo (2022) propôs o uso da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) e um website como recurso educacional para o ensino de acústica. O website oferece orientações para professores sobre como implementar a ABP no estudo da acústica e inclui recursos interativos para alunos. A pesquisa destaca a importância da ABP para promover o protagonismo dos alunos e o desenvolvimento de habilidades colaborativas e sociais. Canto (2022) buscou contextualizar o ensino de acústica, relacionando-o com a música e os instrumentos musicais. A abordagem utilizou atividades práticas e recursos tecnológicos para envolver os alunos, adaptando-se ao ensino remoto durante a pandemia.

Flora Filho (2022) concentrou-se na síntese de som e no uso de *applets* no *software GeoGebra* para ensinar funções periódicas no Ensino Médio. A pesquisa visou tornar o aprendizado mais envolvente e visualmente atraente, relacionando conceitos matemáticos com a geração de sons. A abordagem propôs uma conexão entre tópicos aparentemente abstratos e experimentação prática para melhorar a compreensão dos alunos. Silva (2022) apresentou a construção de um kit tubo de Kundt controlado por Arduino para explorar ondas estacionárias e acústica. A pesquisa incluiu uma sequência didática aplicada em um ambiente de ensino híbrido, com abordagem baseada na interação e experimentação.

Diante das considerações e análises dos trabalhos selecionados, torna-se evidente que o presente estudo se distingue de estudos anteriores em no mínimo três aspectos:

a) Em primeiro lugar, neste trabalho a abordagem está centrada no estudo dos sons que não são perceptíveis pelo ouvido humano, englobando tanto os infrassons quanto os ultrassons. Essa perspectiva representa uma inovação significativa, uma vez que a maioria das pesquisas prévias se concentra predominantemente na acústica sonora audível.

b) A abordagem não se limitou apenas à exploração das características dos sons inaudíveis, mas também estabelece conexões fundamentais com o sistema auditivo humano. Essa interligação entre os campos da Física e da Biologia reflete

uma abordagem interdisciplinar, com potencial para enriquecer substancialmente a compreensão dos alunos sobre o tópico em questão. Essa interdisciplinaridade atesta a relevância e a pertinência da proposta no contexto das Ciências da Natureza e das diretrizes educacionais contemporâneas.

c) Destaca-se a preocupação em relação à inclusão de estudantes surdos. A metodologia foi concebida para garantir que todos os estudantes, independentemente de suas capacidades auditivas, tenham a oportunidade de participar plenamente dos experimentos práticos e interativos. Isso reflete o compromisso com a promoção da inclusão e da acessibilidade no ambiente educacional.

Em síntese, este estudo oferece uma abordagem inovadora, interdisciplinar e inclusiva para o ensino da acústica, explorando os sons inaudíveis e sua relação com o sistema auditivo humano, buscando alinhar-se com as diretrizes educacionais contemporâneas, destacando-se assim seu valor no cenário educacional atual.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Teorias de aprendizagem são elaborações humanas criadas para interpretar de maneira sistemática o domínio do conhecimento referente à aprendizagem. Estas teorias buscam explicar a natureza da aprendizagem e porque funciona e como funciona. As definições para aprendizagem podem ser divididas em três tipos diferentes: cognitiva, afetiva e psicomotora (Moreira, 1999).

A aprendizagem cognitiva refere-se principalmente ao processo pelo qual as informações e conhecimentos são organizadamente armazenados na memória do indivíduo, formando o que se denomina estrutura cognitiva. Essa forma de aprendizagem é frequentemente diferenciada das aprendizagens afetiva e psicomotora. No entanto, é importante destacar que experiências emocionais muitas vezes coexistem com a aprendizagem cognitiva, e essa última também pode estar ligada à aquisição de habilidades motoras (Moreira, 1999).

Neste estudo, são exploradas teorias de aprendizagem voltadas para a dimensão cognitiva. A teoria de Lev Vygotsky enfatiza a importância da mediação através da interação social, enquanto a teoria de David Ausubel centra-se na relação entre o estudante e o conteúdo ensinado. Embora possuam abordagens diferentes, ambas as teorias apontam para a importância da aprendizagem significativa para o aluno.

3.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SOCIOINTERACIONISTA DE LEV VYGOTSKY

A teoria de aprendizagem de Lev Vygotsky (1896-1934), professor de literatura e psicologia, revolucionou a forma de compreensão do processo de ensino e aprendizagem. Vygotsky concentrou seus estudos nos processos mentais superiores, buscando entender os mecanismos psicológicos e distintos dos seres humanos, que incluem a capacidade de refletir sobre objetos não presentes, conceber eventos não experimentados e antecipar ações futuras, relacionados ao controle consciente do comportamento, à ação deliberada e à independência do indivíduo em relação às circunstâncias atuais de tempo e espaço (Oliveira, 1995).

Para explicar o desenvolvimento cognitivo, Vygotsky parte da premissa que esse desenvolvimento não pode ser entendido sem referência ao contexto social e cultural no qual ele ocorre, “[...] o desenvolvimento cognitivo não ocorre independente

do contexto social, histórico e cultural. Aliás, a asserção de que os processos mentais superiores do indivíduo têm origem em processos sociais é um dos pilares da teoria de Vygotsky” (Moreira, 1999, p.109).

Segundo Vygotsky, os processos mentais superiores (pensamento, linguagem, comportamento volitivo) têm origem em processos sociais; o desenvolvimento cognitivo do ser humano não pode ser entendido sem referência ao meio social. Contudo, não se trata apenas de considerar o meio social como uma variável importante no desenvolvimento cognitivo. Para ele o desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais (Moreira, 1999, p. 110).

No ser humano, interações sociais se transformam em funções mentais através da mediação. A mediação é quando um elemento intervém em uma relação, fazendo com que ela não seja mais direta, mas intermediada por esse elemento. Por exemplo, quando alguém retira a mão rapidamente ao se aproximar da chama de uma vela devido à dor, isso é uma relação direta entre o calor e a ação. Contudo, se a pessoa a retira recordando uma dor passada, a memória está mediando a ação. E, se a mão é retirada após um aviso de outra pessoa sobre o risco de queimadura, é a intervenção desse terceiro que media a relação (Oliveira, 1995).

[...] Ao longo do desenvolvimento do indivíduo as relações mediadas passam a predominar sobre as relações diretas. Vygotsky trabalha, então, com a noção de que a relação do homem com o mundo não é uma relação direta, mas, fundamentalmente, uma relação mediada. As funções psicológicas superiores apresentam uma estrutura tal que entre o homem e o mundo real existem mediadores, ferramentas auxiliares da atividade humana (Oliveira, 1995, p.27).

Vygotsky distinguiu dois tipos de elementos mediadores: os instrumentos e os signos. Um instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa, o instrumento é feito ou buscado especialmente para um certo objetivo, é um objeto social e mediador da relação entre o indivíduo e o mundo, já um signo é algo que significa alguma outra coisa (Moreira, 1999; Oliveira, 1995).

Existem três tipos de signos: 1) indicadores, são aqueles que têm uma relação de causa e efeito com aquilo que significam (e.g., fumaça indica fogo, porque é causada por fogo); 2) icônicos, são imagens ou desenhos daquilo que significam; 3) simbólico, são os que têm uma relação abstrata com o que significam. As palavras, por exemplo, são signos linguísticos, os números são signos matemáticos; a linguagem, falada e escrita, e a matemática são sistemas de signos (Moreira, 1999, p.111).

Durante a evolução humana e o crescimento individual de cada indivíduo, surgem duas transformações qualitativas importantes na aplicação dos signos. Inicialmente, o uso de indicações externas se converte em processos internos de mediação, fenômeno nomeado por Vygotsky como "processo de internalização". Além disso, sistemas simbólicos são formados, organizando os signos em estruturas complexas e conectadas, sendo a linguagem o principal sistema simbólico em todas as comunidades humanas (Oliveira, 1995).

A internalização de signos desempenha um papel crucial no desenvolvimento humano. Os signos atuam como mediadores na relação do indivíduo com os outros e com seu próprio eu. A consciência humana é vista como uma interação social consigo mesma, possuindo uma estrutura semiótica e sendo composta por signos. Esta consciência não só tem origens culturais, mas também desempenha uma função instrumental adaptativa (Moreira, 1999).

Para internalizar signos, o ser humano tem que captar os significados já compartilhados socialmente, ou seja, tem que passar a compartilhar significados já aceitos no contexto social em que se encontra, ou já construídos social, histórica e culturalmente. Percebe-se aí o papel fundamental da interação social, pois é por meio dela que a pessoa pode captar significados e certificar-se de que os significados que captados são aqueles compartilhados socialmente para os signos em questão. Em última análise, então, a interação social implica, sobretudo, um intercâmbio de significados (Moreira, 1999, p.113).

Segundo Vygotsky, ao avaliar o desenvolvimento de um indivíduo, além de considerar sua capacidade de realizar tarefas de forma independente (nível de desenvolvimento real), é essencial levar em conta o nível de desenvolvimento potencial, que é sua habilidade de executar tarefas com o auxílio de outras pessoas. É a partir da postulação da existência desses dois níveis de desenvolvimento (real e potencial) que Vygotsky define a zona de desenvolvimento proximal (Oliveira, 1995).

Ela é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. [...] A zona de desenvolvimento proximal define aquelas funções que ainda não amadureceram, mas que estão em processo de maturação, funções que amadurecerão, mas que estão presentemente em estado embrionário. Essas funções poderiam ser chamadas de "brotos" ou "flores" do desenvolvimento, ao invés de "frutos" do desenvolvimento. O nível de desenvolvimento real caracteriza o desenvolvimento mental retrospectivamente, enquanto a zona de desenvolvimento proximal

caracteriza o desenvolvimento mental prospectivamente (Vygotsky, 1991, p.58).

Aprendizagem e desenvolvimento não são processos simultâneos, mas estão intrinsecamente relacionados de maneira complexa. Uma aprendizagem eficaz ocorre quando precede o desenvolvimento, agindo como um estímulo que ativa diversas funções que estavam em processo de maturação e na zona de desenvolvimento imediato (Vygotsky, 2000).

O currículo estruturado de cada disciplina escolar representa o ambiente onde a aprendizagem impacta o desenvolvimento. A educação não teria propósito se dependesse exclusivamente do que já está desenvolvido no aluno; é imperativo que o ensino também atue como um catalisador para o progresso e o surgimento de novas compreensões (Vygotsky, 2000).

3.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

A aprendizagem é um processo complexo e dinâmico que desempenha um papel fundamental na vida de todos os indivíduos. Dentre as diversas teorias educacionais que buscam entender como as pessoas aprendem, a Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, destaca-se como uma abordagem fundamental para o desenvolvimento do conhecimento significativo.

Considerando que existem três categorias principais de aprendizagem (cognitiva, afetiva e psicomotora), a teoria de Ausubel está essencialmente focada na dimensão cognitiva. Ausubel, como proponente do cognitivismo, oferece uma perspectiva teórica sobre o processo de aprendizagem sob o prisma cognitivista, pois acredita que aprender envolve a organização e integração de informações dentro da estrutura cognitiva (Moreira, 1999).

É a estrutura cognitiva, entendida como o conteúdo total de ideias de um certo indivíduo e sua organização; ou, o conteúdo e organização de suas ideias em uma área particular de conhecimentos. É o complexo resultante dos processos cognitivos, ou seja, dos processos por meio dos quais se adquire e utiliza o conhecimento. (Moreira, 1999, p.152)

Na aprendizagem significativa, o conhecimento é integrado à estrutura cognitiva de maneira profunda e compreensível, permitindo que o indivíduo explique, descreva e transfira esse conhecimento, até mesmo para contextos novos. Essa

forma de aprendizado não ocorre de repente, mas de maneira contínua, com o conhecimento sendo assimilado ao longo do tempo, com significados aceitos no contexto da matéria de ensino (Moreira, 2021).

A aprendizagem significativa, conceituada por Ausubel, envolve a combinação do conhecimento pré-existente com o novo. Assim, o aprendiz molda e desenvolve seu entendimento baseando-se no que já sabe. Quando se depara com novas informações, ele as integra usando os significados que já internalizou de forma substantiva e não arbitrária. O conhecimento prévio, vital para absorver novas informações, é baseado em "subsunçores", existente na estrutura cognitiva do indivíduo (Moreira, 1999).

A aprendizagem significativa possui duas características fundamentais: a não-arbitrariedade e a substantividade. A não-arbitrariedade quer dizer que o material potencialmente significativo se relaciona de maneira não-arbitrária com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Em outras palavras, essa conexão ocorre com partes específicas da estrutura cognitiva, particularmente com aqueles conhecimentos que Ausubel denomina subsunçores (Moreira 2011).

O conhecimento prévio serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação, compreensão e fixação de novos conhecimentos quando estes "se ancoram" em conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva. Novas ideias, conceitos, proposições, podem ser aprendidos significativamente (e retidos) na medida em que outras ideias, conceitos, proposições, especificamente relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito e funcionem como pontos de "ancoragem" aos primeiros (Moreira, 2011)

A substantividade refere-se à incorporação da essência do novo conhecimento ou ideias à estrutura cognitiva, em vez das palavras específicas usadas para descrevê-las. Isso implica que um conceito ou proposição pode ser articulado de várias formas, usando diferentes signos ou conjuntos de signos, mas mantendo o mesmo significado. Portanto, uma aprendizagem verdadeiramente significativa não se limita ao uso de certos signos específicos (Moreira, 2011).

A relação do novo conhecimento com o que já está consolidado na estrutura cognitiva do aluno, também chamado de conhecimento prévio, diferencia a aprendizagem significativa da mecânica. Para que a aprendizagem seja significativa, é essencial que o conteúdo apresentado ao aluno tenha a capacidade de se integrar de forma profunda e lógica ao seu conhecimento pré-existente. Além disso, é

fundamental que o aluno esteja predisposto e motivado a conectar esse novo conhecimento à sua estrutura cognitiva, evitando associações superficiais ou impostas (Moreira, 2006).

Quando o material de aprendizagem é relacionável à estrutura cognitiva somente de maneira arbitrária e literal que não resulta na aquisição de significados para o sujeito, a aprendizagem é dita mecânica ou automática. A diferença básica entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica está na relacionabilidade à estrutura cognitiva: não arbitrária e substantiva versus arbitrária e literal. Não se trata, pois, de uma dicotomia, mas de um contínuo no qual elas ocupam os extremos (Moreira, 2011).

Ausubel (2003) destaca a essência da aprendizagem significativa por meio de duas condições fundamentais: o material didático deve ser potencialmente significativo e a disposição do aluno em aprender. O material torna-se efetivamente relevante quando possui uma estrutura que permite sua associação harmônica com o conhecimento prévio do aluno, transcendendo a simples memorização e integrando-se à sua estrutura cognitiva. Contudo, a eficácia deste processo também é fortemente influenciada pela atitude do aprendiz: seu interesse, engajamento e motivação são determinantes para que ele estabeleça conexões substantivas entre o novo conteúdo e suas concepções anteriores, conferindo um significado profundo ao que está sendo aprendido.

Ausubel diferencia a aprendizagem significativa em três categorias: representacional, de conceitos e proposicional. A aprendizagem representacional, sendo a mais elementar, refere-se à atribuição de significados a símbolos, comumente palavras. Nesse contexto, os símbolos são associados a seus respectivos referentes, adquirindo, assim, um significado específico. A aprendizagem de conceitos, embora baseada na representação, se destaca por sua natureza abstrata, na qual os conceitos são símbolos genéricos que capturam a essência dos referentes. Por sua vez, a aprendizagem proposicional se concentra na compreensão do significado de ideias articuladas como proposições. Aqui, as palavras em uma sentença expressam conceitos, mas o desafio é transcender a mera compreensão individual dos conceitos e captar o significado global da proposição, que supera a simples combinação de seus componentes isolados (Moreira, 1999).

A aprendizagem significativa, envolve dois processos interligados: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Moreira e Masini (2016) destacam que, quando os alunos são expostos a novas informações, ocorre uma

mudança nos conceitos ou proposições inclusivas existentes na estrutura cognitiva. A inclusão repetida de novas informações motiva a diferenciação progressiva, enquanto a recombinação dos elementos já presentes na estrutura cognitiva é denominada reconciliação integrativa.

A diferenciação progressiva é vista como um princípio programático da matéria de ensino, segundo o qual as ideias, conceitos, proposições mais gerais e inclusivos do conteúdo devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade. [...] A reconciliação integrativa, por sua vez, é o princípio segundo o qual a instrução deve também explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças importantes e reconciliar discrepâncias reais ou aparentes (Moreira, 1999, p.160-161).

No contexto da aprendizagem significativa, Moreira (1999) destaca-se a importância do educador, que em síntese é representada em quatro tarefas: primeiramente, é necessário que o professor compreenda e identifique a estrutura conceitual e proposicional da matéria, organizando os conceitos de maneira hierárquica, dos mais abrangentes aos específicos; em seguida, é necessário identificar os subsunçores, ou seja, os conceitos ou ideias fundamentais que o estudante deveria possuir em sua estrutura cognitiva para compreender o novo conteúdo proposto; na etapa seguinte, diagnosticar aquilo que o aluno já sabe, garantindo que os subsunçores necessários estejam presentes em sua cognição. Por fim, o papel do educador é empregar métodos e recursos pedagógicos que permitam ao aluno assimilar efetivamente a estrutura da matéria, incentivando-o a organizar e expandir seu próprio conhecimento de forma clara e aplicável em diferentes contextos.

Nesse cenário, o papel do professor não é apenas de um transmissor de informações, mas principalmente de um facilitador e mediador na construção do conhecimento. A metodologia aplicada pelo docente, embasada na Teoria da Aprendizagem Significativa, deve priorizar a relação entre o novo conteúdo e o conhecimento prévio do aluno. Desta forma, a aprendizagem torna-se uma experiência mais rica e significativa, possibilitando a construção de uma base sólida de conhecimento que pode ser aplicada em diversas situações ao longo da vida.

3.3 CONEXÕES ENTRE AS TEORIAS DE VYGOTSKY E AUSUBEL

Dentro da corrente cognitivista da psicologia educacional, a Teoria da Aprendizagem Significativa e a Teoria Sociointeracionista surgem como duas abordagens proeminentes que, ao serem analisadas sob o prisma do ensino de física, evidenciam uma complementaridade notável em seu enfoque sobre o processo de ensino e aprendizagem.

Vygotsky, pioneiro da teoria sociointeracionista, realça o papel vital das interações sociais no aprendizado. Ele defende que o processo de aquisição de conhecimento é imerso em nuances socioculturais, onde as interações tornam-se fundamentais para a assimilação de informações. Seu conceito das zonas de desenvolvimento proximal (ZDP) destaca-se, ilustrando a capacidade de avanço cognitivo do aluno com a devida orientação ou colaboração.

Em contraste, Ausubel, ao postular a Teoria da Aprendizagem Significativa, acentua a necessidade de conectividade entre novas informações e a estrutura cognitiva já estabelecida do aprendiz. A ideia central é que um novo conhecimento se torna significativo ao ser integrado às subestruturas cognitivas já formadas.

Ao aprofundarmos a análise, é perceptível que Vygotsky valoriza o ambiente externo, principalmente as interações, como essencial para a construção cognitiva. Ausubel, por outro lado, foca no ambiente interno do aprendiz, particularmente nas estruturas cognitivas estabelecidas. No entanto, ambas as perspectivas se inter-relacionam, pois, o ambiente externo e o conhecimento prévio coexistem influenciando reciprocamente o processo de aprendizagem.

O elo entre ambas as teorias é o reconhecimento da construção ativa do conhecimento pelo aluno. Vygotsky e Ausubel convergem ao refutar a ideia do aluno como um ente passivo; pelo contrário, o veem como agente ativo em seu desenvolvimento cognitivo. Enquanto Vygotsky destaca o cenário sociocultural, Ausubel enfoca a conexão com o acervo de conhecimentos do estudante. Para ambos, a aprendizagem é otimizada quando o novo saber é contextualizado à experiência e realidade do aluno.

Em síntese, tanto a teoria sociointeracionista quanto a teoria da aprendizagem significativa enfatizam a importância da construção ativa do conhecimento pelo aprendiz e a influência do contexto na aprendizagem. Enquanto Vygotsky se concentra nas interações sociais, Ausubel destaca a importância da conexão com o conhecimento prévio do aluno. Juntas, essas teorias oferecem uma compreensão abrangente e complementar do processo de ensino e aprendizagem,

destacando a importância da interação social, da organização cognitiva e da construção de significados.

Este estudo aprofundou a aplicação de uma sequência didática voltada à Acústica. A abordagem, com foco em infrassons e ultrassons, buscou integrar teoria e prática, empregando experimentos e simulações para elucidar esses fenômenos sonoros. A estrutura da sequência didática alinhou-se aos princípios sociointeracionistas, dando prioridade à interação como elemento central no aprendizado, e ao mesmo tempo, ressoa com a perspectiva de Ausubel ao incentivar a conexão dos conceitos acústicos com o conhecimento prévio dos estudantes.

3.4 REFERENCIAL METODOLÓGICO: SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Uma sequência didática é uma estruturação pedagógica sistemática e intencional, composta por materiais e atividades de ensino, que visam facilitar o processo de ensino-aprendizagem de um conteúdo específico. Ela não apenas apresenta os recursos necessários para que os alunos alcancem os objetivos de aprendizagem, mas também fornece orientações detalhadas para o educador sobre como abordar e conduzir cada etapa do processo.

Uma sequência didática (SD) pode, de fato, servir como um referencial metodológico dentro das perspectivas da aprendizagem significativa e sociointeracionista, desde que seja projetada e executada de maneira a incorporar os princípios e elementos-chave dessas teorias. O professor quando estabelece a inserção de um conteúdo (unidade de aprendizagem) através de uma SD precisa estabelecer etapas.

Antoni Zabala (1998), pedagogo espanhol, em sua obra intitulada "A prática educativa: como ensinar", propõe um modelo de sequência didática estruturado em distintas etapas. Ele defende que, ao seguir estas etapas de maneira criteriosa, é possível assegurar uma aprendizagem significativa e eficaz. As etapas delineadas por Zabala e suas características são descritas a seguir:

- 1) **Motivação e Ativação do Conhecimento Prévio:** Começar a sequência didática motivando os alunos e ativando seu conhecimento prévio relacionado ao tópico a ser treinado. Isso pode ser feito por meio de perguntas, discussões, histórias, imagens ou atividades que despertem o interesse e preparem o terreno para a aprendizagem.

2) **Objetivos de Aprendizagem:** Definir claramente os objetivos que deseja alcançar com a sequência didática. Esses objetivos devem ser específicos, mensuráveis e relevantes para os alunos. Eles devem orientar o processo de ensino e aprendizagem.

3) **Conteúdo e Atividades:** Desenvolver as atividades e recursos de ensino que ajudam os alunos a alcançarem os objetivos de aprendizagem. Isso inclui a apresentação de informações, projeções, divulgação em grupo, leitura, pesquisa, experimentação, entre outros. As atividades devem ser variadas e adequadas ao nível de desenvolvimento dos alunos.

4) **Aplicação do Conhecimento:** Promover a aplicação do conhecimento adquirido. Isso pode envolver a resolução de problemas, a realização de projetos, a criação de produtos ou a simulação de situações do mundo real. O objetivo é que os alunos utilizem o que aprendam de maneira prática.

5) **Avaliação:** Integrar estratégias de avaliação ao longo da sequência didática. Isso inclui avaliação formativa, que ocorre durante o processo de ensino para monitorar o progresso dos alunos, bem como avaliação somativa, que é usada para avaliar o alcance dos objetivos. A avaliação deve ser alinhada com os objetivos de aprendizagem.

6) **Síntese e Generalização:** No final da sequência didática, permitir que os alunos façam uma síntese do que aprenderam e generalizem os conceitos para situações diferentes. Isso ajuda a consolidar o conhecimento.

7) **Transferência e Aplicação:** Encorajar os alunos a transferir o conhecimento adquirido para contextos diversos. Isso demonstra que a aprendizagem é relevante e útil em diferentes situações.

8) **Reflexão e Metacognição:** Promover a reflexão sobre o próprio processo de aprendizagem. Os alunos devem ser incentivados a pensar sobre como aprenderam, quais estratégias foram eficazes e como podem melhorar o próprio aprendizado.

9) **Avaliação Final:** Realizar uma avaliação final para verificar se os objetivos de aprendizagem foram realizados. Isso pode incluir provas, trabalhos, apresentações ou outras formas de avaliação.

10) **Feedback:** Fornecer feedback aos alunos sobre seu desempenho e aprendizado. O feedback construtivo ajuda os alunos a melhorar e entender como podemos progredir.

11) Revisão e Ajustes: Após a conclusão da sequência didática, fazer uma revisão e ajuste o plano de acordo com os resultados da avaliação e o feedback recebido. Isso permitirá melhorias contínuas no processo de ensino e aprendizagem.

Essas etapas propostas por Zabala são especificamente um guia abrangente para o planejamento de sequências didáticas que promovem uma aprendizagem significativa e eficaz. Ele enfatiza a importância de envolver os alunos, relacionar o conteúdo com suas vidas, proporcionar oportunidades de aplicação e avaliação regular do progresso.

Para construção e aplicação da SD, norteando-se pelas teorias da Aprendizagem Significativa e Sociointeracionista, a proposta contempla as etapas proposta por Zabala, justificando o método adotado neste trabalho. Sendo assim cada etapa da SD foi pensada e construída de acordo com as teorias mencionadas.

a) Análise da SD referente a Aprendizagem Significativa (Ausubel):

- Conexão com Conhecimentos Prévios: A aprendizagem significativa enfatiza a importância de ancorar novos conhecimentos em estruturas cognitivas já existentes. Uma sequência didática pode começar com atividades que ativem e explorem os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema em questão.

- Organização e Estruturação do Conteúdo: A sequência didática pode estruturar o conteúdo de forma lógica e organizada, ajudando os alunos a verem a relação entre os conceitos. Organizadores prévios podem ser usados para destacar conceitos-chave que os alunos devem entender para construir significado.

- Relevância e Contextualização: Uma sequência didática pode incorporar exemplos e aplicações práticas que tornem o conteúdo mais relevante e significativo para os alunos. Isso ajuda a responder à pergunta "Por que isso é importante para mim?".

b) Análise da SD referente a Teoria Sociointeracionista (Vygotsky):

- Interação Social: A Teoria Sociointeracionista enfatiza a importância da interação social na aprendizagem. Uma sequência didática pode incorporar atividades de grupo, discussões em sala de aula e colaboração entre os alunos para promover a interação social.

- Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): A sequência didática pode ser projetada de forma a identificar a Zona de Desenvolvimento Proximal dos alunos, ou seja, o que eles podem fazer com a ajuda de um mediador (professor ou colegas). Isso pode guiar o ensino e as atividades.

- Aprendizagem Mediada: O professor pode atuar como um mediador, fornecendo suporte e orientação para os alunos à medida que eles constroem seu entendimento. Isso pode ser feito através de perguntas, discussões e feedback construtivo.

- Cultura e Contexto: A sequência didática pode levar em consideração o contexto cultural e social dos alunos, integrando elementos culturais relevantes e destacando como o conhecimento se relaciona com suas vidas e experiências.

Portanto, Sequência Didática pode ser um referencial metodológico eficaz quando projetada com base nas Teorias da Aprendizagem Significativa e Sociointeracionista. Ela proporciona uma estrutura para a aplicação prática dessas teorias, promovendo a construção ativa do conhecimento, a interação social e a relevância do conteúdo para os alunos, tudo isso contribuindo para uma aprendizagem mais significativa e eficaz.

4 REVISÃO DOS CONCEITOS FÍSICOS

A Física, uma ciência da natureza, ajuda a compreender os aspectos do universo e desperta curiosidade em estudantes e cientistas globalmente. Seu alcance não se limita apenas a fórmulas matemáticas e experimentos em laboratório; a Física está presente em nosso dia a dia, influenciando a forma como interagimos com o mundo. A Acústica é um exemplo das diversas áreas que a Física explora.

A Acústica nos permite entender como o som se propaga e influencia nosso cotidiano. Ela está presente na música que ouvimos, nos dispositivos de comunicação e nos sistemas de som de cinemas e teatros. A acústica também tem utilidade em áreas como engenharia de som, medicina, arquitetura e estudos ambientais, onde ajuda na análise do impacto do som no ambiente e na fauna.

A importância da Física reside na sua capacidade de explicar o funcionamento do universo e, conseqüentemente, de cooperação no progresso tecnológico. Sem ela, não teríamos eletricidade, comunicações modernas, transporte avançado, cuidados médicos de alta tecnologia, e muito mais. Ela serve como base para várias ciências e tecnologias, oferecendo ferramentas para compreender e modificar o mundo em que vivemos.

O estudo da Física, abrangendo áreas como a Acústica, é importante para entendermos o mundo e contribuir para o progresso da sociedade. A Física nos incentiva a fazer perguntas, buscar respostas e explorar novos conceitos, ajudando a criar um mundo mais informado e interligado.

4.1 ONDULATÓRIA

Para compreender como o som se propaga em diversos meios, se faz necessário o estudo dos fenômenos ondulatórios. Em um sentido amplo, uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio, com velocidade definida, em geral, fala-se de onda quando a transmissão do sinal entre dois pontos distantes ocorre sem que haja transporte direto de matéria de um desses pontos ao outro (Nussenzveig, 2002, p.98). As ondas são impulsos originados de uma fonte emissora, categorizados segundo sua natureza (mecânica, eletromagnética ou de matéria), a direção de sua vibração (transversal ou longitudinal) e até mesmo pelo

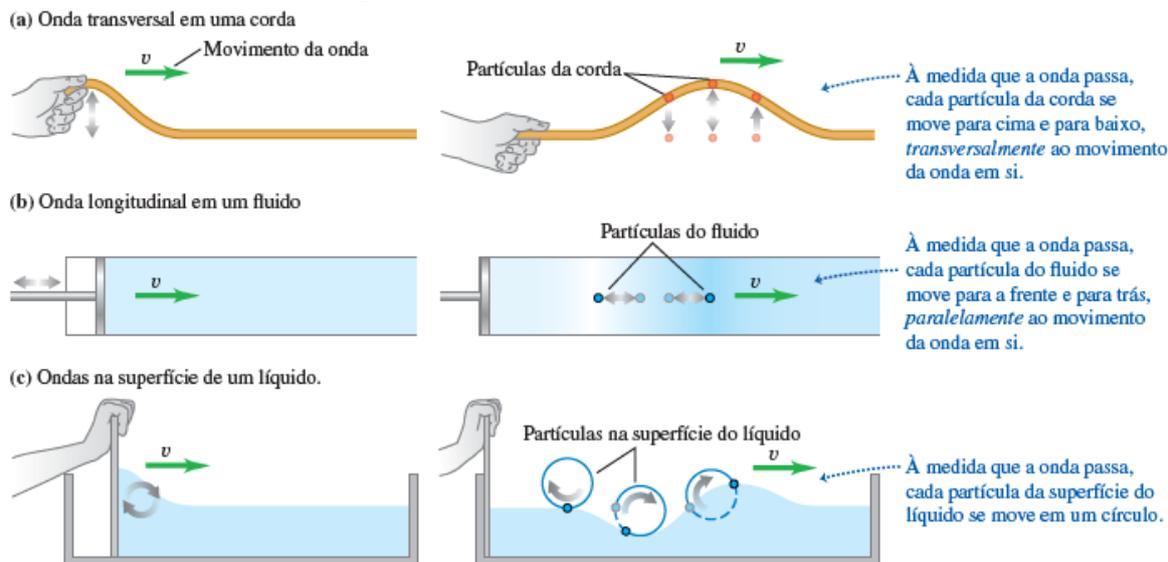
número de dimensões em que sua energia se propaga (unidimensional, bidimensional ou tridimensional) (Lima, 2012, p.81).

Ondulações em um lago, sons musicais e tremores sísmicos devido a terremotos são exemplos de fenômenos ondulatórios. Uma onda é gerada quando um sistema é deslocado de seu estado de equilíbrio, é uma perturbação determinada pelas características físicas do meio que se propaga de uma região para outra do meio. Durante a propagação de uma onda, ela carrega consigo energia. Por exemplo, a energia solar é transportada na forma de ondas de luz, aquecendo a superfície da Terra, enquanto as ondas sísmicas transportam energia capaz de causar rachaduras na crosta terrestre (Young; Freedman, 2015).

No estudo do som, o foco recai sobre as ondas mecânicas, que se propagam em um material específico denominado meio.

Na Figura 1, identificam-se três comportamentos distintos de ondas mecânicas. No primeiro cenário, representado por (a), uma extremidade de um fio esticado é movimentada, originando uma onda transversal, caracterizada pelo movimento das partes da corda perpendicularmente à direção de propagação da onda. No segundo cenário, (b), uma perturbação é causada em um líquido ou gás dentro de um tubo por meio de uma tampa oscilante na extremidade, gerando uma onda longitudinal, na qual as partículas do meio se deslocam paralelamente à direção de propagação da onda. No terceiro cenário, (c), um líquido contido em um canal sofre perturbação de uma placa plana que oscila em uma das extremidades, resultando em uma onda com componentes tanto transversais quanto longitudinais no deslocamento da água (Young; Freedman, 2015).

Figura 1- Tipos de ondas mecânicas



Fonte: Young e Freedman (2015, p.114).

Nos exemplos de ondas mencionados, observam-se três características intrínsecas. Inicialmente, a perturbação propaga-se a uma velocidade determinada pelo meio, designada como velocidade da onda (v). Em seguida, nota-se que o meio permanece estável, mas suas partículas individuais realizam oscilações em torno de suas posições de equilíbrio. Por fim, para induzir o movimento nesses sistemas, é imprescindível a aplicação de energia através de trabalho mecânico. Vale ressaltar que as ondas transferem essa energia de uma região para outra do meio, mas não transportam matéria de um lugar para outro (Young; Freedman, 2015).

4.1.1 Movimento Harmônico Simples (MHS) e Ondas Periódicas

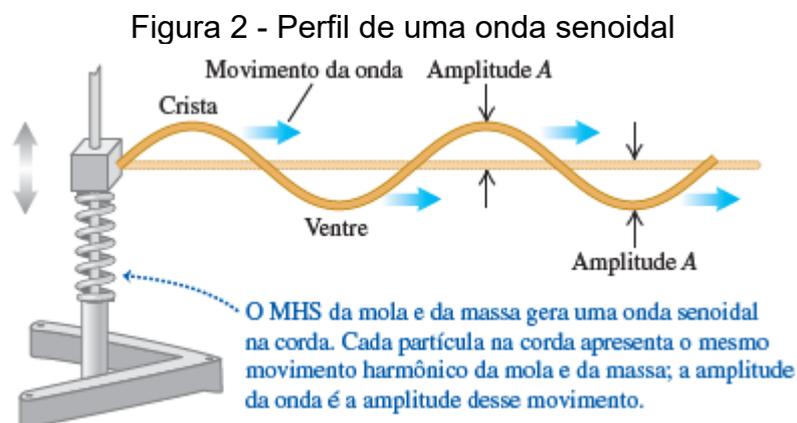
Ondas harmônicas que por definição são perturbações, num dado ponto x , corresponde a uma oscilação harmônica simples (Nussenzveig, 2002).

Analisa-se, conforme a Figura 2, o perfil de uma onda senoidal. Neste caso, cada elemento da corda realiza um Movimento Harmônico Simples (MHS) na vertical, para o qual definimos a:

- Frequência f (número de oscilações por unidade de tempo);
- Frequência angular $\omega = 2\pi f$;
- Período $T = 1/f = 2\pi/\omega$ (o intervalo de tempo de uma oscilação).

A onda é uma sequência simétrica de cristas e ventres, ou seja, uma onda periódica produzida por um MHS, chamada de onda senoidal.

A medida que a onda se propaga, qualquer ponto sobre a corda oscila verticalmente com MHS em torno da posição de equilíbrio. Quando uma onda senoidal, Figura 2, se propaga em um meio linear, cada partícula do meio executa um MHS com a mesma frequência (Young; Freedman, 2015).



Fonte: Young e Freedman (2015, p.116)

Uma onda periódica tem uma forma que se repete ao longo do tempo. O comprimento de onda (λ) é a distância entre duas cristas sucessivas ou dois ventres consecutivos, ou de qualquer ponto até o ponto correspondente na próxima repetição da forma de onda. O padrão da onda se move com velocidade constante (v) avançando uma distância λ sem intervalo de um período (T). Portanto, a velocidade da onda é:

$$v = \lambda f,$$

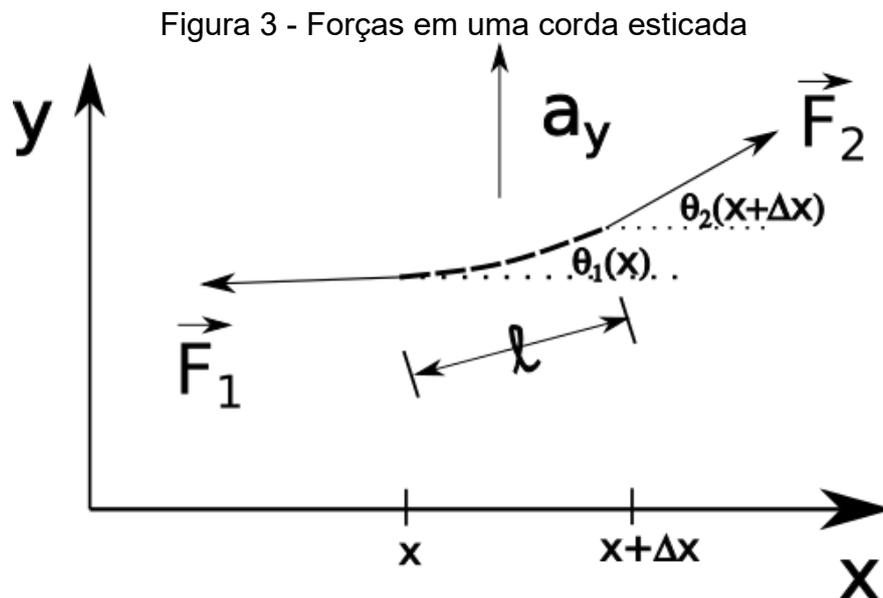
com

$$f = 1/T.$$

4.1.2 Descrição Matemática das Ondas

Matematicamente, as ondas podem ser descritas em um nível mais avançado usando equações diferenciais parciais que modelam o comportamento das grandezas ondulatórias em função do tempo e da posição. Para o caso de uma corda esticada, quando temos uma onda se propagando, cada elemento da corda se move perpendicularmente à direção de propagação da onda (Halliday; Resnick, 2014). Aplicando a segunda Lei de Newton ao movimento de um segmento da corda, pode-

se obter a chamada equação de onda unidimensional, que governa a propagação de ondas unidimensionais em meios lineares, não dissipativos e não dispersivos.



Na figura 3 representamos um pedaço da corda, de comprimento l e massa Δm , bem como as forças aplicadas a ela à esquerda e à direita, para uma pequena oscilação. A segunda Lei de Newton para componente y da força resultante nos dá:

$$F_y = \Delta m a_y$$

e assim,

$$F_y = F_{2y} - F_{1y} = F_2 \text{sen}(\theta_2) - F_1 \text{sen}(\theta_1) \cong F_2 \tan(\theta_2) - F_1 \tan(\theta_1) = \Delta m a_y \quad (1)$$

onde aproximamos o seno pela tangente para pequenos ângulos. Temos ainda que, para pequenas oscilações, a corda praticamente não estica, ou seja, $l \approx \Delta x$ e a tensão na corda T é aproximadamente constante, o que implica em $F_1 \cong F_2 \cong T$. Além disso,

$$\Delta m = \mu \Delta x \quad (2)$$

onde a Δm é escrito em termos da massa específica μ da corda e do comprimento Δx .

A aceleração a_y é a derivada (parcial pois y depende de x e t) de segunda ordem da posição em relação ao tempo

$$a_y = \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}, \quad (3)$$

e a tangente do ângulo que a corda faz com a horizontal é

$$\tan(\theta) = \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}. \quad (4)$$

Logo, substituindo-se as equações (2), (3) e (4) na equação (1) temos:

$$T \left(\frac{\partial y(x+\Delta x,t)}{\partial x} - \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} \right) = \mu \Delta x \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}.$$

Lembrando que para Δx infinitesimal,

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\frac{\partial y(x+\Delta x,t)}{\partial x} - \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}}{\Delta x} \right) = \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2},$$

chegamos à

$$\mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2},$$

que equivale à equação da onda unidimensional para uma onda que se propaga com velocidade

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}.$$

4.2 ACÚSTICA: ONDAS SONORAS

O som é uma onda mecânica, ou seja, uma onda que necessita de um meio material para se propagar, como ar, a água ou mesmo uma barra de aço. Sua propagação sem o transporte físico de matéria, evidencia sua natureza ondulatória (Nussenzveig, 2002). Um olhar familiar na experiência cotidiana é a produção de som por corpos em vibração, exemplificado pelo ruído produzido por uma britadeira ao bater continuamente em uma superfície sólida. Este processo ilustra a relação intrínseca entre a vibração dos corpos e a geração de ondas sonoras, que são fundamentais para a compreensão das propriedades acústicas dos materiais.

O deslocamento de uma onda sonora envolve variações de pressão em fluidos, como o ar e a água, ou qualquer outro meio material. A propagação do som ocorre da seguinte forma (Nussenzveig, 2002):

a) Fonte de Vibração: O processo tem início com uma fonte de vibração. Ela pode ser um objeto vibratório, como as cordas de um instrumento musical, a membrana de um alto-falante, a vibração das cordas vocais em um ser humano, ou até mesmo uma britadeira, como mencionado anteriormente.

b) Compressão e Rarefação: Ao se mover para mais perto de um ponto, comprime as partículas, aumentando a pressão (compressão). Ao se afastar, as partículas se dispersam, causando a diminuição da pressão (rarefação);

c) Propagação das Ondas: As áreas de compressão e rarefação se espalham em todas as direções, formando uma onda sonora. Na audição percebemos as variações de pressão quando as ondas chegam aos nossos ouvidos;

d) Transmissão de Energia: À medida que a onda sonora se move, ela carrega energia pela variação de pressão. Uma maior intensidade de vibração na fonte significa maior amplitude nas variações de pressão na onda, resultando em um som mais alto percebido;

e) Recepção do Som: Quando as ondas sonoras alcançam o ouvido, elas fazem com que o tímpano vibre de maneira semelhante às partículas do fluido. Essas vibrações do tímpano são então transmitidas para o ouvido interno, onde são convertidas em impulsos elétricos que o cérebro interpreta como som.

Podemos observar o processo de forma qualitativa, conforme ilustrado no diagrama da Figura 4.

Figura 4 - Ciclo do mecanismo da onda sonora



As ondas sonoras típicas são senoidais, definidas por sua amplitude, frequência e comprimento de onda. O ouvido humano percebe frequências de 20 a 20.000 Hz, definindo o alcance audível, todavia, também utilizamos o termo "som" para as ondas com frequências acima (ultrassom) ou abaixo (infrassom) desse intervalo (Young; Freedman, 2015).

No caso ideal, onde uma onda sonora que se propaga apenas no sentido positivo do eixo x , essa onda é descrita por uma função de onda $y(x, t)$, que fornece o deslocamento instantâneo y de uma partícula em um meio para uma posição x no instante t . Caso a onda seja senoidal, podemos representá-la usando a equação:

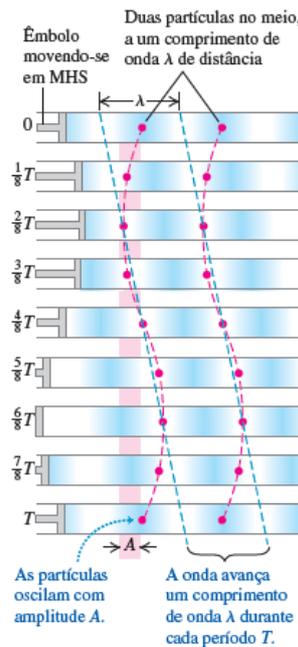
$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t),$$

onde A é a amplitude, $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda e $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular, que é solução da equação da onda unidimensional.

Em ondas longitudinais, Figura 5, as oscilações ocorrem na mesma direção da propagação da onda, diferentes das ondas transversais onde são perpendiculares. A amplitude (A) representa o deslocamento máximo da partícula a partir da posição de equilíbrio na direção da onda.

Figura 5 - Uma onda senoidal longitudinal deslocando-se para a direita em um fluido

As ondas longitudinais são mostradas com intervalos de $\frac{1}{8}T$ para um período T .



Fonte: Young e Freedman (2015, p.116).

4.2.1 Relação entre Ondas Sonoras, Densidade, Pressão e Deslocamento

A compreensão das relações entre densidade, pressão e deslocamento é fundamental para entender o comportamento das ondas sonoras em diferentes meios (Nussenzveig, 2002).

a) Relação entre Densidade e Pressão em Ondas Sonoras: As ondas sonoras são pequenas variações de pressão e densidade (em relação aos valores de equilíbrio) que se propagam através de partículas de um meio. Assim, se p_o e ρ_o forem os valores de equilíbrio da pressão e da densidade do gás, e se p e ρ forem a pressão e a densidade na presença da onda sonora, temos que $P = p + p_o$ e $\rho = \rho_o + \delta$ com δ e p_o muito menores que os valores de equilíbrio. Dessa forma,

$$\frac{p}{\delta} = \frac{P - p_o}{\rho - \rho_o} \cong \frac{\partial P}{\partial \rho} \quad (5)$$

Para uma onda se propagando em um gás ideal, as compressões e expansões muito rápidas, e não há tempo para troca de calor, ou seja, temos um processo adiabático. Neste caso, a relação entre densidade (ρ) e pressão (P) do gás em ondas sonoras é descrita equação:

$$P = b\rho^\gamma ,$$

onde b é uma contante e γ é a razão entre o calor específico do gás a pressão constante e a volume constante.

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

Já a derivada da pressão em relação à densidade no equilíbrio é então

$$\frac{\partial P}{\partial \rho} = \gamma \frac{P_0}{\rho_0} . \quad (6)$$

b) Relação entre Deslocamento e Densidade em Ondas Sonoras: O deslocamento (x) das partículas em um meio devido à passagem de uma onda sonora está relacionada à densidade do meio. Vejamos o caso de uma onda sonora unidimensional que se propaga no eixo x dentro de um tubo cilíndrico de gás de secção reta de área A , conforme a figura 6. Se $u(x,t)$ for o deslocamento das partículas no eixo x , no instante t , então a volume do gás compreendido entre x e $x+\Delta x$, será:

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

que pode ser escrito como

$$V + \Delta V = A\Delta x \left\{ 1 + \frac{u(x + \Delta x, t) - u(x, t)}{\Delta x} \right\} \cong A\Delta x \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right)$$

e nos dá

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\partial u(x,t)}{\partial x}, \quad (7)$$

pois

$$V = A\Delta x .$$

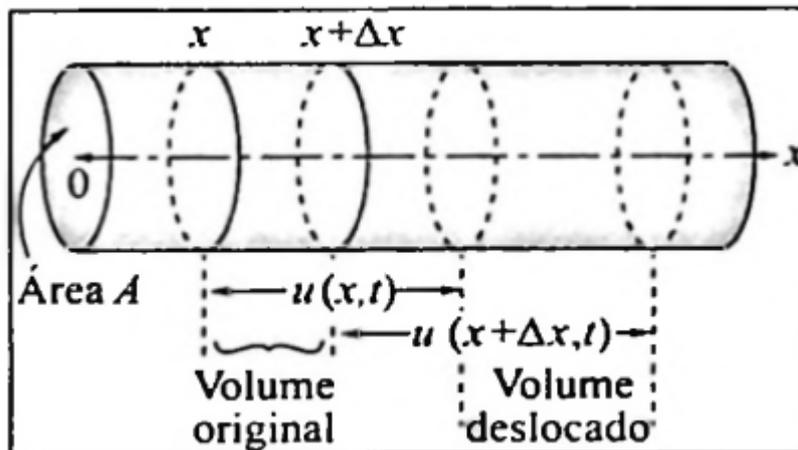
Como a densidade do gás pode ser escrita como $\rho = \frac{M}{V}$, onde M é a massa do gás, temos (a partir da diferencial da densidade em relação ao volume)

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V},$$

que com as equações (6) e (7) nos dá

$$\delta = -\rho_0 \frac{\partial u(x,t)}{\partial x}. \quad (8)$$

Figura 6 - Variação de Volume



Fonte: Nussenzveig (2002, p. 125).

a) Relação entre Pressão e Deslocamento em Ondas Sonoras:

Novamente observando a Figura 6, temos que a quantidade de massa entre as seções x e $x+\Delta x$, e dada por $\Delta m \cong \rho_0 A \Delta x$. Com as pressões à esquerda e à direita elemento de massa, podemos encontrar a força resultante dada por

$$\Delta F = A[P(x, t) - P(x + \Delta x, t)] = -A\Delta x \left[\frac{P(x+\Delta x, t) - P(x, t)}{\Delta x} \right] \cong -\Delta V \frac{\partial p}{\partial x}.$$

Pela segunda lei de Newton,

$$\Delta F = \Delta m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \rho_0 A \Delta x \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -A \Delta x \frac{\partial p}{\partial x},$$

que resulta em

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x}. \quad (9)$$

4.2.2 Velocidade do Som

A partir das equações (5) e (8) temos que:

$$p = \frac{\partial p}{\partial \rho} \delta = -\rho_o \frac{\partial p}{\partial \rho} \frac{\partial u}{\partial x}$$

onde a variação de pressão é dada no ponto de equilíbrio. Comparando-se agora com a equação (9) temos

$$-\rho_o \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial p}{\partial x} = \rho_o \frac{\partial p}{\partial \rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2},$$

que leva à equação da onda unidimensional

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

na qual a velocidade da onda é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}}.$$

Para um processo adiabático vimos como a pressão varia com a densidade em um gás. Neste caso, a partir da equação (6) temos

$$v = \sqrt{\gamma \frac{P_o}{\rho_o}}$$

que para o ar nas condições normais de temperatura e pressão é de aproximadamente 332 m/s.

Para sólidos e outros fluídos, convêm escrevermos

$$\frac{\partial p}{\partial \rho} = \frac{B}{\rho},$$

onde B é o módulo de elasticidade volumétrico. Assim, para ondas longitudinais na água, onde $B = 2,2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ na temperatura ambiente, a velocidade v é da ordem de 3.000 m/s (Nussenzveig, 2002). O quadro da Figura 7 apresenta a velocidade do som em alguns outros materiais.

Figura 7 - Velocidade do som em diversos materiais

Material	Velocidade do som (m/s)
<i>Gases</i>	
Ar (20 °C)	344
Hélio (20 °C)	999
Hidrogênio (20 °C)	1.330
<i>Líquidos</i>	
Hélio líquido (4 K)	211
Merúrio (20 °C)	1.451
Água (0 °C)	1.402
Água (20 °C)	1.482
Água (100 °C)	1.543
<i>Sólidos</i>	
Alumínio	6.420
Chumbo	1.960
Aço	5.941

Fonte: Young e Freedman (2015, p.161).

4.2.2.1 Efeito do movimento do fluido

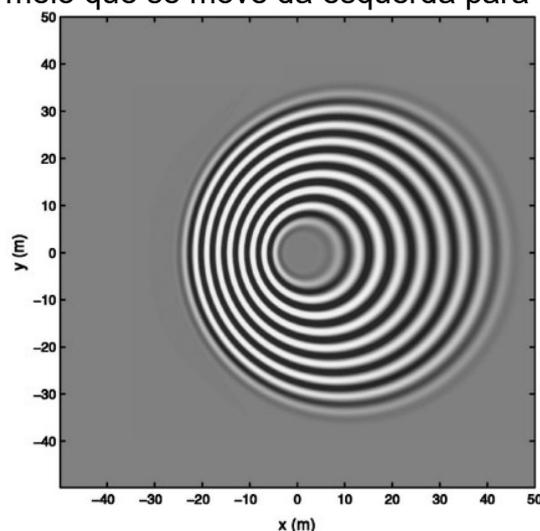
No caso do som se propagando em um fluido (ar) em movimento, a velocidade do som neste meio também sofre mudanças. Assim, seja v a velocidade do som dada por

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{m}}.$$

Se o vetor velocidade do ar for \mathbf{u} , a velocidade \mathbf{w} de uma frente de onda será dada pela soma vetorial $\mathbf{w} = v\mathbf{n} + \mathbf{u}$ (onde \mathbf{n} é um vetor normal à frente de onda), ou seja, a velocidade do som muda em meios que se movem, sendo igual a soma entre os módulos ($v + u$) se o meio se mover no sentido da propagação do som e a diferença

($v - u$) se as velocidades estiverem em sentidos opostos, como no problema do movimento relativo em uma dimensão. Além disto, como a frequência do som se mantém constante, o comprimento de onda também muda. Na Figura 8, vemos o resultado de uma simulação (corte bidimensional) de uma onda omnidirecional de 100 Hz se propagando na presença de um meio em movimento. Neste caso o meio se move com velocidade com sentido da esquerda para direita. Podemos observar o aumento do comprimento de onda à esquerda e uma diminuição à direita (Ostashev, 2005).

Figura 8 - Instantâneo da propagação simulada de uma onda sonora de 100 Hz na presença de um meio que se move da esquerda para direita a 102,9 m/s



Fonte: Ostashev (2005).

4.2.3 Intensidade Sonora

A intensidade sonora é definida como o valor médio temporal da potência por unidade de área. Essa definição mostra que a intensidade sonora representa a quantidade de energia sonora que atravessa uma área específica durante um determinado período, fornecendo uma medida quantitativa fundamental para entender o poder e a transmissão do som em diferentes contextos (Young; Freedman, 2015).

Para obtermos a intensidade de onda sonora devemos calcular a força exercida sobre uma camada de fluido de área A na posição x devido à passagem da onda dada por:

$$F=p(x,t)A;$$

Supondo uma onda sonora harmônica progressiva, uma solução da equação da onda unidimensional tem a forma $u(x,t) = U \cos(kx - \omega t + d)$ de forma que a pressão varie como:

$$p(x,t) = G \sin(kx - \omega t + d).$$

A potência instantânea é então dada por $F(du/dt) = \omega A G U \sin^2(kx - \omega t + d)$. Como o valor médio de $\sin^2(kx - \omega t + d)$ é $1/2$, a intensidade (potência média por unidade de área) é dada por:

$$I = \frac{1}{2} B \omega k A^2;$$

usando as relações $\omega = vk$ e $v = \sqrt{B/\rho}$, podemos transformar a equação em:

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\rho B} \omega^2 A^2; \text{ onde}$$

- I é a intensidade de uma onda sonora senoidal em um fluido;
- ρ é a densidade do fluido;
- B é módulo de compressão do fluido;
- ω^2 é a frequência angular = $2\pi f$;
- A^2 é a amplitude de deslocamento.

Ainda podemos expressar a intensidade em termos da pressão máxima;

$$I = \frac{\omega P_{\text{máx}}^2}{2Bk} = \frac{v P_{\text{máx}}^2}{2B}$$

Utilizando a relação da velocidade da onda $v = \sqrt{B/\rho}$, podemos reescrever de forma alternativa (Young; Freedman, 2015);

$$I = \frac{P_{\text{máx}}^2}{2\rho v} = \frac{P_{\text{máx}}^2}{2\sqrt{\rho B}} \text{ onde:}$$

- I é a intensidade de uma onda sonora senoidal em um fluido;
- $P_{\text{máx}}^2$ é a amplitude de pressão;
- ρ é a densidade do fluido;
- v é a velocidade da onda;
- B é o módulo de compressão do fluído.

4.2.4 A Escala Decibel (dB)

O nível sonoro, muitas vezes abreviada como dB (unidade), é uma unidade de medida fundamental em Acústica e Engenharia de Som. Essa escala está ligada à maneira como percebemos, medimos e compreendemos os sons em nosso ambiente. A escala decibel é comparativa e permite a quantificação precisa de variações na intensidade do som, que muitas vezes escapam à percepção humana comum.

Devido à notável sensibilidade do ouvido humano a uma vasta gama de intensidades sonoras, é comum utilizar uma escala logarítmica para representar essas intensidades, conhecida como 'nível de intensidade sonora'.

$$\beta = (10 \text{ db}) \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ onde:}$$

- β é o nível da intensidade sonora;
- \log é logaritmo de base 10;
- I é a intensidade da onda sonora;
- I_0 é a intensidade de referência = 10^{-12} W/m^2 .

Essa abordagem logarítmica permite uma descrição precisa de variações extremas de intensidade sonora, Figura 9, abrangendo desde os sons mais sutis até os mais estrondosos.

Figura 9 - Níveis de intensidade sonora de diversas fontes (valores típicos)

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, p.167).

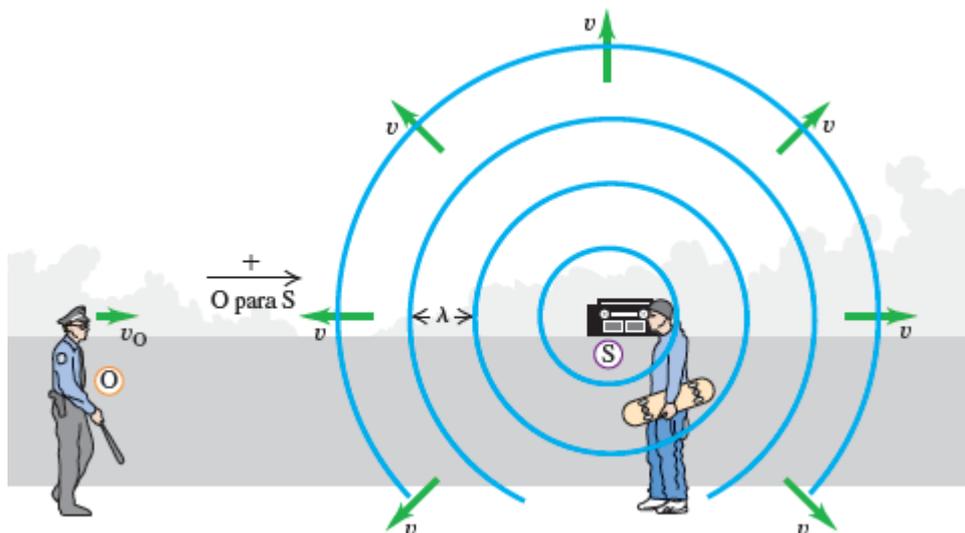
4.2.5 Efeito Doppler

Certamente, o fenômeno conhecido como efeito Doppler, descrito pelo cientista austríaco Christian Doppler no século XIX, é uma observação notável que ocorre quando a fonte sonora e o ouvinte estão em movimento relativo. Neste caso, a frequência do som percebido pelo ouvinte difere da frequência do som emitido pela fonte (Young; Freedman, 2015).

O efeito Doppler é uma consequência direta das propriedades ondulatórias do som e tem implicações significativas na percepção de algumas situações cotidianas. Quando um objeto sonoro se aproxima de um observador, as ondas sonoras são comprimidas, resultando em um aumento aparente na frequência percebida pelo ouvinte. Isso leva a uma percepção de algo mais agudo do que a frequência original emitida pela fonte. Por outro lado, quando a fonte sonora se afasta do observador, as ondas sonoras se expandem, resultando em uma diminuição aparente na frequência percebida, levando a um som mais grave (Young; Freedman, 2015).

A Figura 10 mostra um ouvinte que se aproxima de uma fonte ouve um som com uma frequência maior que a frequência da fonte, porque a velocidade relativa entre o ouvinte e a onda é maior que a velocidade da onda v .

Figura 10 - Ouvinte em movimento, fonte estacionária



Fonte: Young e Freedman (2015, p. 180).

A equação que define, quando o ouvinte está em movimento em relação a fonte sonora (repouso);

$$f_0 = \left(\frac{v+v_0}{v} \right) f_s = \left(f + \frac{v_0}{v} \right) f_s, \text{ onde;}$$

v_0 é a velocidade do ouvinte;

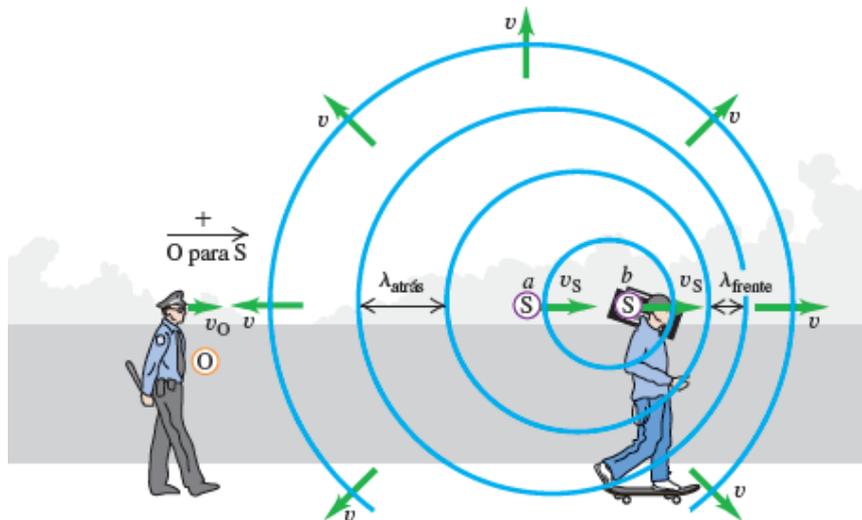
S indica a fonte sonora cuja velocidade é nula.

v é a velocidade do som.

Portanto, quando um ouvinte se aproxima da fonte sonora ($v_0 > 0$), como indicado na Figura 10, ele ouve um som com uma frequência mais elevada (altura mais elevada) que a frequência ouvida quando ele está em repouso. Quando o ouvinte se afasta da fonte sonora ($v_0 < 0$), ele ouve uma frequência menor (altura mais baixa) (Young; Freedman, 2015).

Outro exemplo, é quando o ouvinte e a fonte sonora estão em movimento, conforme ilustra a Figura 11:

Figura 11 - Fonte e ouvinte em movimento



Fonte: Young e Freedman (2015, p. 180)

As cristas das ondas emitidas por uma fonte em movimento de a para b ficam comprimidas na frente da fonte (do lado direito no desenho) e se dilatam atrás dela (do lado esquerdo no desenho) (Young; Freedman, 2015). A equação para o comprimento de onda na frente de fonte que se move:

$$\lambda = \frac{v}{f_s} - \frac{v_s}{f_s} = \frac{v - v_s}{f_s};$$

Para o comprimento de onda atrás de uma fonte que se move:

$$\lambda = \frac{v + v_s}{f_s};$$

Portanto a equação do efeito doppler para um ouvinte e uma fonte em movimento:

$$f_0 = \frac{v + v_0}{v + v_s} f_s, \text{ onde};$$

f_0 é a frequência detectada pelo ouvinte;

v é a velocidade do som;

v_0 é a velocidade do ouvinte (+ se de O para S, - se ao contrário);

v_s é velocidade da fonte (+ se de O para S, - se ao contrário);

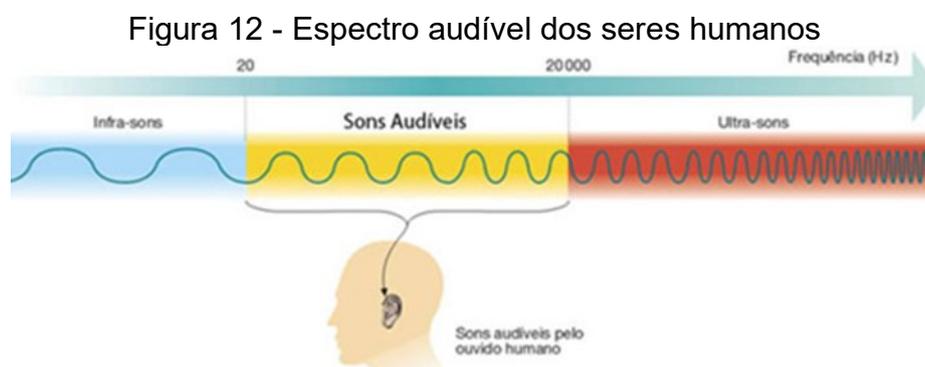
f_s é a frequência emitida pela fonte.

4.3 SONS INAUDÍVEIS: INFRASSONS E ULTRASSONS

O som é uma parte vital da nossa experiência diária. Mas existem sons que nossos ouvidos não conseguem detectar, pois nossa percepção auditiva está limitada a uma faixa estreita de frequências sonoras. Assim como usamos microscópios para ver coisas muito pequenas e telescópios para observar estrelas distantes, existem tecnologias que nos permitem "ouvir" sons além da nossa capacidade auditiva. Estamos falando do infrassom e ultrassom, sons com frequências abaixo e acima das audíveis, respectivamente. Essas frequências sonoras inaudíveis têm aplicações desde a medicina - como o uso do infrassom para tratar células cancerígenas - até em telecomunicações (Dimatteo, 2022).

Da mesma forma que 95% do universo observável é composto por “matéria escura” e “energia escura” (que não podemos observar diretamente), e que “Tudo na Terra, tudo que foi observado com todos os nossos instrumentos, toda a matéria normal - representa menos de 5% do universo” (Dimatteo, 2022), podemos afirmar analogamente que, a grande maioria dos sons são os que não podemos ouvir diretamente.

Os infrassons e ultrassons, são frequências sonoras que estão abaixo ou acima dos cerca de 20Hz a 20.000Hz. Dentro deste espectro, os ultrassons e infrassons representam extremos que, embora inaudíveis, têm implicações significativas em várias áreas da ciência e tecnologia.



Fonte: <https://medium.com/@steam4girls.ifg/ultrassom-fe51564628f0> Acesso em: 13/12/2023.

Nossas percepções cotidianas têm suas limitações. Mesmo estando constantemente cercados por fenômenos como calor, gravidade, luz e som, nossa

capacidade de percebê-los é restrita a determinadas faixas dessas manifestações. Para ilustrar, conforme a Figura 12, nosso espectro auditivo humano abrange de 20 a 20.000 Hz, representando apenas uma pequena porção das reais frequências sonoras existentes (Dimatteo, 2022).

O ultrassom e o infrassom são categorias de sons que se distinguem dos sons convencionalmente ouvidos pelos seres humanos em três aspectos fundamentais (Pye, Langbauer Jr., 1988):

a) Frequências Extremas: tanto o ultrassom quanto o infrassom são, por natureza, frequências que ficam fora da capacidade auditiva humana. Isso significa que são necessários instrumentos específicos para detectá-los. Quando detectados, podem revelar fenômenos comuns em outras espécies, mas desconhecidos para os humanos.

b) Comprimento de Onda: o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência. Assim, o ultrassom tem comprimentos de onda curtos e o infrassom, longos. Essa característica influencia a interação das ondas sonoras com objetos sólidos, por exemplo, o ultrassom pode ser altamente direcional e reflete fortemente em objetos pequenos, enquanto o infrassom não apresenta essas propriedades.

c) Absorção e Propagação: sons de alta frequência, como o ultrassom, são fortemente absorvidos pelo ar, sendo eficazes apenas em distâncias curtas. Por outro lado, o infrassom, de frequência muito baixa, se propaga com mínimas perdas, tornando-o adequado para comunicação à longa distância.

Em muitos aspectos a percepção humana é limitada e estamos "cegos" a uma ampla gama de informações presentes em nosso ambiente, ou seja, assim como não conseguimos ver a luz infravermelha e ultravioleta, também somos incapazes de ouvir ondas infrassônicas e ultrassônicas. No entanto, mesmo que não possamos percebê-las diretamente, essas ondas têm efeitos significativos em nossos corpos (Dimatteo, 2022).

A Agência de Proteção à Saúde do governo do Reino Unido publicou em 2010 um relatório de 196 páginas, concluindo que “o ultrassom é capaz de causar danos permanentes aos tecidos biológicos”, a ainda, que “em níveis elevados de ultrassom, podem ocorrer dor auditiva e ruptura do tímpano”, tais conclusões foram obtidas a partir das evidências científicas disponíveis de estudos com humanos, animais e

células relacionadas à exposição ao ultrassom e infrassom (*Health Protection Agency, 2010*).

Em 2020, a *BBC News Brasil* noticiou a entrega de um relatório produzido pela Academia Americana de Ciências após investigação encomendada pelo Departamento de Estado americano, sobre a “Síndrome de Havana”. Segundo noticiado, entre 2016 e 2017, funcionários da Embaixada dos EUA na capital cubana começaram a apresentar "um incomum conjunto de sintomas e sinais clínicos", “o caso começava com o repentino início de um barulho alto (...) acompanhando de dor em um ou nos dois ouvidos, ao redor de uma área ampla da cabeça, e, em alguns casos, sensação de pressão ou vibração na cabeça, tontura, tinido, problemas visuais, vertigem e dificuldades cognitivas”, após uma análise aprofundada dos casos, a Academia Americana de Ciências concluiu que a "energia de radiofrequência direta e pulsada" surge como a explicação mais provável para a enfermidade, ainda que outras possíveis causas não tenham sido totalmente excluídas (*BBC News, 2020*).

O som, assim como qualquer ferramenta, possui a capacidade de beneficiar ou causar danos. Enquanto frequências como infrassom e ultrassom podem gerar danos fisiológicos, seus potenciais terapêuticos também têm sido investigados (*Dimatteo, 2022*). A título de exemplo, o relatório produzido pela Agência de Proteção à Saúde evidencia que o ultrassom tem sido empregado como uma técnica inovadora no tratamento de solos contaminados, onde o solo poluído é combinado com água e posteriormente exposto ao ultrassom, resultando na destruição de moléculas poluentes complexas (*Health Protection Agency, 2010*).

Apesar de o infrassom e o ultrassom serem fenômenos naturais, os humanos os empregam de formas que não são comumente observadas na natureza. A disseminação de frequências no espectro eletromagnético, como as ondas de rádio de baixa frequência, e a poluição sonora industrial, que emite frequências audíveis mais baixas, estão afetando negativamente populações humanas, vegetais e animais. Se persistirmos na adoção da tecnologia sônica sem levar em conta como essas frequências interagem com a fisiologia humana e os mecanismos de comunicação de outras espécies, corremos o risco de deslocá-las e infligir danos abrangentes tanto ao nosso ambiente interno quanto ao externo (*Dimatteo, 2022*).

4.3.1 Infrassom: o mundo das baixas frequências

O infrassom, como relatado anteriormente, refere-se às ondas sonoras que possuem frequências abaixo da faixa audível para o ouvido humano, especificamente aquelas com frequências inferiores a 20 Hz. Embora não sejamos capazes de "ouvir" o infrassom da maneira tradicional, estas ondas de baixa frequência pode ser sentidas e, em alguns casos, podem até mesmo causar sensações físicas ou efeitos psicológicos.

Originado de diversas fontes naturais e artificiais, o infrassom pode ser produzido por fenômenos naturais como terremotos, avalanches, tempestades e até mesmo o próprio oceano. Em contextos artificiais, grandes máquinas, explosões, turbinas eólicas e até mesmo certos veículos de transporte podem gerar infrassom (Lima, 2012).

Na Figura 11 o infrassom é destacado em contextos tanto naturais quanto tecnológicos. Na ilustração à esquerda, a ênfase recai sobre as baleias, mamíferos que empregam frequências infrassônicas para comunicação em vastas distâncias. Já na ilustração à direita, o foco são as turbinas eólicas, associadas à produção de energia sustentável, mas que, contudo, emitem ruídos de baixa frequência.

Uma característica notável do infrassom é sua habilidade de se propagar por vastas distâncias, sofrendo mínima atenuação. Isso permite que ele se desloque por milhares de quilômetros mantendo grande parte de sua energia inicial. Essa característica é atribuída aos baixos coeficientes de absorção que os infrassons têm nos meios em que se propagam, especialmente no ar. Uma demonstração histórica dessa capacidade foi a explosão do vulcão Krakatoa em 1883, que gerou ondas infrassônicas capazes de estilhaçar janelas a 1.600 km de distância. Ademais, explosivos, como as armas atômicas, geram uma onda infrassônica destrutiva com baixa pressão atmosférica que se propaga extensamente (Lima, 2012).

Imagem 1 - Fontes naturais e artificiais de infrassom



Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/o-infrasom-ultrasom.htm> Acesso em: 13/12/2023.

Embora não sejam audíveis, os infrassons têm diversas aplicações práticas e são objeto de estudos em vários campos. Naturalmente, são gerados por fenômenos como vulcões, tornados, terremotos e avalanches, sendo essenciais para pesquisas e monitoramentos desses eventos (Dimatteo, 2022). Na área médica, são utilizados em tratamentos específicos, particularmente na terapia por ondas de choque, visando tratar condições musculoesqueléticas (*Health Protection Agency*, 2010). Além disso, certos animais, como elefantes e baleias, empregam infrassons para se comunicar, mesmo em grandes distâncias, fornecendo informações valiosas sobre seu comportamento e ecologia (Lima, 2012).

Ainda, estrategicamente, os infrassons foram explorados em contextos militares como potenciais ferramentas não letais de desorientação (Dimatteo, 2022). No setor de energia, as turbinas eólicas, conhecidas por sua produção sustentável, emitem infrassons, e o monitoramento dessas emissões é crucial para avaliar o desempenho das turbinas (Doolan, 2015). E por fim, estudos psicológicos têm investigado o impacto dos infrassons no comportamento humano, considerando relatos de sensações atípicas ou até experiências que se assemelham ao paranormal, quando expostos a essas frequências (Parsons, 2012).

Embora os infrassons tenham várias aplicações úteis, também existem preocupações sobre seus potenciais efeitos adversos na saúde humana, especialmente quando as pessoas estão expostas a níveis elevados por períodos prolongados. Por isso, continua sendo uma área ativa de pesquisa e desenvolvimento.

No contexto da saúde e do bem-estar, destaca-se a importância de analisar os efeitos das vibrações de baixa frequência. Para essa análise, são frequentemente levados em consideração aspectos como a aceleração das partículas, mensurada em m/s^2 , e o tempo de exposição à vibração, geralmente expresso em horas ou dias. Nota-se que as vibrações que afetam à área total do corpo ou a uma grande parte dela, como no caso de campos infrassônicos no ar, possuem características que facilitam a identificação de relações causa-efeito, tanto em aspectos qualitativos quanto quantitativos (Lima, 2012).

No entanto, sabe-se que, dependendo da intensidade, duração, área e tipo de exposição, os efeitos das vibrações mecânicas de baixa frequência em seres humanos, vão desde irritações leves a graves lesões, incluindo “batimentos cardíacos

irregulares, distúrbios do sono, dores de cabeça, zumbidos, náuseas, vertigem, visão turva, dor, calafrios, ataques de pânico. Irritabilidade geral, ansiedade, epilepsia e a doença vibroacústica (DVA)” (Lima, 2012).

A Agência de Proteção à Saúde do Reino Unido, no relatório divulgado em fevereiro de 2010, ao analisar os efeitos potenciais do infrassom, em razão dos poucos estudos publicados (e pela limitação e qualidade questionável) concluiu que em geral, não há evidências consistentes de que a exposição aguda ao infrassom, nos níveis comumente encontrados no ambiente, cause efeitos fisiológicos ou comportamentais significativos. No entanto, há indicações de que o infrassom acima do limiar auditivo e em exposições muito intensas pode causar dor e danos auditivos (*Health Protection Agency, 2010*).

Em síntese, os infrassons, ondas sonoras de baixa frequência, desempenham um papel significativo em diversos domínios, desde a natureza até contextos tecnológicos. Contudo, a influência destas frequências no bem-estar humano é uma área ainda em investigação, especialmente considerando os potenciais efeitos adversos na saúde. A investigação contínua sobre o infrassom é crucial, pois, apesar de suas múltiplas aplicações e benefícios, é essencial entender e mitigar os possíveis riscos associados à sua exposição prolongada.

4.3.2 Ultrassons: explorando a alta frequência

O ultrassom refere-se às ondas sonoras que possuem frequências acima da faixa audível para o ouvido humano, especificamente aquelas com frequências superiores a 20.000 Hz. Embora nosso ouvido não seja capaz de detectar essas ondas de alta frequência de forma consciente, elas têm aplicações cruciais em diversas áreas da ciência e da tecnologia.

Produzido por fontes tanto naturais quanto artificiais, os ultrassons podem ser gerados, conforme estudos, por animais como golfinhos, que utilizam a ecolocalização para navegar e caçar. No contexto artificial, os ultrassons são gerados por dispositivos eletrônicos, equipamentos médicos e até mesmo por alguns motores de alta velocidade.

Imagem 2 - Fonte natural de ultrassom



Fonte: Ricardo Amboni. Disponível em: <https://nautica.com.br/bale-dos-botos-em-laguna-impresiona-o-publico-pela-inteligencia-dos-animais/> Acesso em: 13/12/2023.

Imagem 3- Fonte artificial de ultrassom



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ultrassons-suas-aplicacoes.htm> Acesso em: 13/12/2023.

Nas imagens acima, representa-se as ondas ultrassônicas em contextos variados. Na primeira, têm-se os golfinhos, criaturas marítimas que utilizam ultrassons para ecolocalização e comunicação. Na segunda, destaca-se o uso de ultrassons em equipamentos médicos, como os aparelhos de ultrassonografia, essenciais para visualizações internas do corpo humano, como a observação de fetos durante a gravidez, sem a necessidade de intervenções invasivas.

De acordo com o *Health Protection Agency* (2010), a transmissão de ultrassom no ar apresenta desafios significativos, sobretudo em distâncias mais amplas, o que culmina em uma quantidade limitada de suas aplicações nesse meio. Por contraste, sua eficácia torna-se mais evidente em meios condensados, como

sólidos, líquidos - com destaque para a água - e tecidos biológicos, incluindo materiais com propriedades similares a estes. Em relação a esta eficácia em meios densos, uma característica intrínseca das ondas ultrassônicas é sua habilidade de gerar imagens precisas em distâncias curtas, devido à sua direcionalidade aguçada.

Tal capacidade permite que essas ondas penetrem com eficiência em tecidos e líquidos, refletindo-se e possibilitando a captação e conversão em imagens de alta definição. Lima (2012) atribui esta peculiaridade à elevada frequência do ultrassom, que confere uma resolução superior, especialmente em meios líquidos e tecidos moles. Uma manifestação prática dessa competência é observada na ultrassonografia médica, instrumento valioso para profissionais da saúde na observação de órgãos internos, fluxos sanguíneos e, inclusive, fetos em estágios gestacionais dentro do útero.

O ultrassom tem experimentado uma ampliação significativa em suas aplicações no âmbito médico. Tais aplicações podem ser categorizadas em diagnósticas e terapêuticas ou cirúrgicas. Diversos fatores têm incentivado a adoção crescente do ultrassom na medicina, entre eles, destaca-se o custo reduzido dos equipamentos e a percepção da técnica como essencialmente inofensiva, tendo um histórico notório de segurança (*Health Protection Agency, 2010*).

No âmbito das aplicações terapêuticas do ultrassom, a intensidade do campo ultrassônico administrado é calibrada para promover alterações específicas, sejam elas físicas, químicas ou biológicas, no tecido subjacente. Dentro desta perspectiva, o termo "força" é adotado para elucidar parâmetros intrínsecos à exposição ultrassônica, incluindo, mas não se limitando a, a potência ultrassônica aplicada, a intensidade média temporal no pico espacial e a respectiva pressão acústica imposta ao tecido (*Health Protection Agency, 2010*).

Além de suas aplicações na medicina, o ultrassom é amplamente usado na indústria. Com o crescimento das indústrias de petróleo e mineração, a demanda por sistemas de monitoramento de integridade estrutural tem aumentado. Por isso, a técnica de ultrassom tem sido refinada e é frequentemente empregada na inspeção de produtos, desde a produção até as fases de manutenção, para verificação da integridade estrutural ao longo de todo o ciclo de vida de um componente (*Morais et al., 2017*).

O ultrassom tem outras diversas aplicações industriais, uma das principais é na purificação da água, onde o ultrassom inativa bactérias e desfaz aglomerados

delas, usando um processo chamado cavitação acústica (quando um ultrassom é aplicado em um meio aquoso, a variação de pressão causada pelas ondas sonoras, resulta na formação resultando na formação e oscilação de bolhas de vapor nos ciclos de rarefação e variação da onda, até que eventualmente implodem²). Destaca-se ainda que o ultrassom é eficaz na limpeza do ar, aglomerando partículas finas suspensas, como as emitidas por veículos a diesel ou indústrias químicas; também é usado no tratamento de solos contaminados; no tratamento de lodo de esgoto, tornando compostos orgânicos dissolvidos mais acessíveis para digestão anaeróbica; e na cristalização, ajudando a controlar o crescimento de cristais em preparações farmacêuticas (*Health Protection Agency, 2010*).

Além das aplicações nas áreas da medicina e da indústria, o ultrassom, devido aos seus efeitos como a cavitação acústica, tem várias aplicações domésticas. Algumas delas incluem máquinas de lavar louça ultrassônicas e outros sistemas de limpeza. Também existem aplicações de ultrassom no ar, como em sensores de estacionamento de carros, aspiradores de pó robóticos que usam ultrassom para navegar e dispositivos que emitem ultrassom para afastar animais, como gatos ou roedores (*Health Protection Agency, 2010*).

Diversos estudos têm explorado a segurança e eficácia do ultrassom em diferentes aplicações. Em contextos de saúde, a análise detalhada dos efeitos do ultrassom no corpo humano é essencial para garantir procedimentos seguros e eficazes (Lima, 2012). A Agência de Proteção à Saúde do Reino Unido, em pesquisas relacionadas ao ultrassom, destaca sua segurança quando utilizado corretamente, mas reforça a necessidade de treinamento adequado e manutenção dos equipamentos para evitar exposições desnecessárias ou prejudiciais (*Health Protection Agency, 2010*).

4.4 BIOACÚSTICA: SOM E OUVIDO

A Bioacústica é o campo científico que investiga o funcionamento do sistema auditivo em mamíferos, incluindo os humanos. Essa área se concentra na maneira como percebemos as sensações auditivas geradas por estímulos sonoros. Estes estímulos, que fisicamente se manifestam como ondas mecânicas, interagem com

² Disponível: <https://www.hielscher.com/pt/acoustic-vs-hydrodynamic-cavitation-for-mixing-applications.htm>

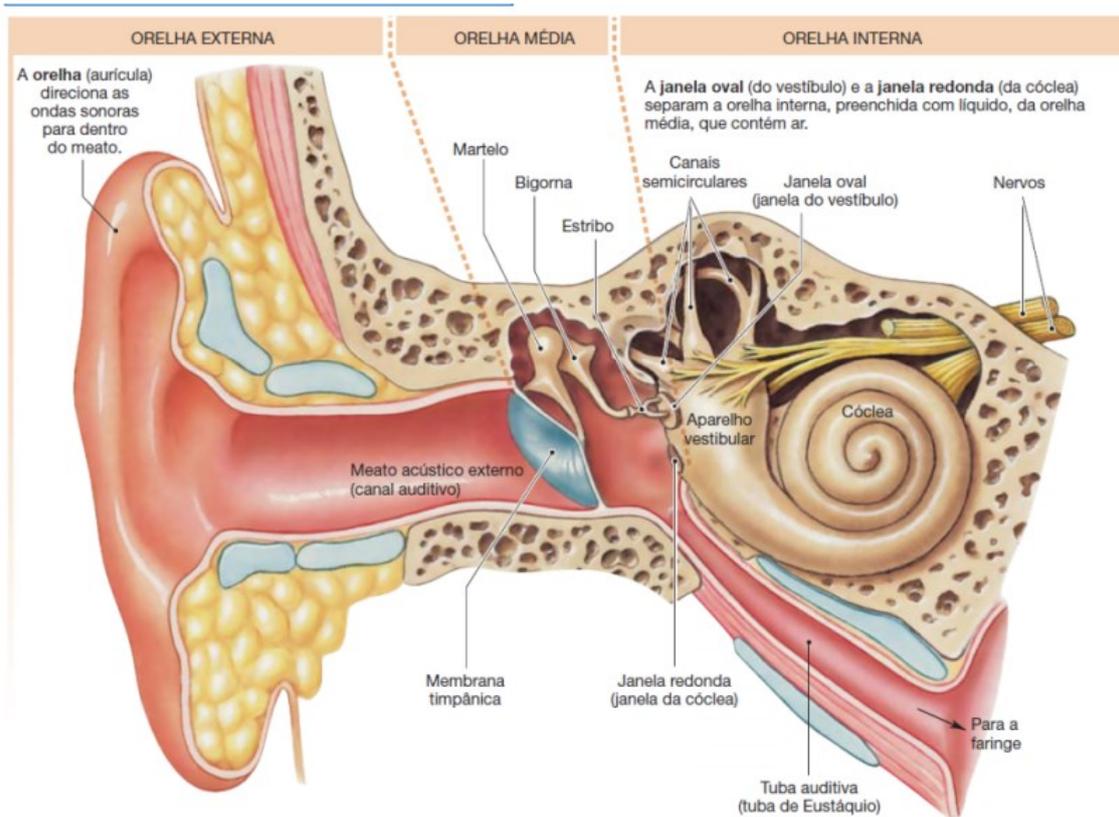
células ciliadas no sistema auditivo. Essas células, por sua vez, transformam os estímulos mecânicos em potenciais de ação neural (Dúran, 2003).

A audição, um dos cinco sentidos humanos, é um processo complexo que envolve múltiplos eventos sequenciais. Para que possamos escutar, o som precisa se propagar em determinado meio até alcançar nosso sistema auditivo. Uma vez captado, nosso aparelho auditivo processa as características do som, como frequência, amplitude, timbre e origem da fonte sonora, e as transmite ao nervo auditivo. Este, por sua vez, conduz as informações através das células auditivas até o córtex cerebral, onde os impulsos elétricos são interpretados. Esse conjunto de etapas define o mecanismo da audição (Vasconcelos; Garcia, 2009).

4.4.1 O ouvido humano

O ouvido desempenha o papel fundamental de transformar ondas mecânicas sutis presentes no ar em estímulos nervosos. O ouvido é constituído de três partes: o ouvido externo, compreendendo a orelha e o canal auditivo; o ouvido médio, que abriga um conjunto de três ossículos, nomeadamente o martelo, a bigorna e o estribo; e, finalmente, o ouvido interno, onde se localiza a cóclea preenchida por fluídos. É precisamente na cóclea que o som é transmutado em impulsos elétricos (Okuno; Caldas; Chow, 1982).

Figura 13 - Anatomia do ouvido



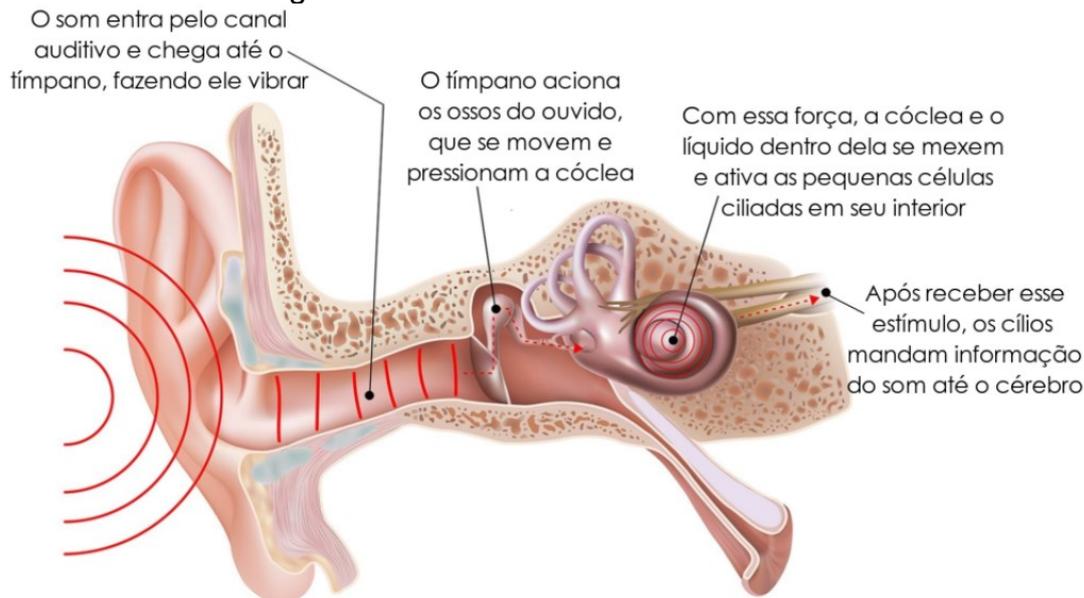
Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7869768/mod_resource/content/1/Ouvido%20humano-%20Anatomia%2C%20doen%C3%A7as%20e%20tecnologia.pdf Acesso em: 13/12/2023.

Embora a orelha desempenhe um papel na audição, ela não é o componente mais crucial. Sua função principal é direcionar as ondas sonoras para o canal auditivo. Este canal, com aproximadamente 2,5 cm de extensão, assemelha-se a um tubo com uma extremidade aberta e a outra fechada pela membrana timpânica. Esta membrana distingue o ouvido externo do ouvido médio, e ambos os compartimentos são preenchidos com ar (Okuno; Caldas; Chow, 1982).

O ouvido médio é composto por três ossículos interconectados, nomeadamente o martelo, a bigorna e o estribo, que coletivamente funcionam como um sistema de alavanca. Esta configuração é crucial para a amplificação das vibrações sonoras. Ao receber ondas sonoras, o tímpano vibra e, através do mecanismo de alavanca dos ossículos, estas vibrações são amplificadas em 1,3 vezes antes de serem transmitidas ao ouvido interno. Adicionalmente, a amplificação sonora é potenciada pela diferença de área entre a membrana timpânica (64 mm²) e a janela oval (3,2 mm²), culminando num ganho potencial de até 21 vezes (Vasconcelos; Garcia, 2009).

Figura 14 - Anatomia e Física do Ouvido



Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7869768/mod_resource/content/1/Ouvido%20humano-%20Anatomia%2C%20doen%C3%A7as%20e%20tecnologia.pdf Acesso em: 13/12/2023.

Este processo de amplificação é vital, uma vez que, na transição do som de um meio aéreo (ouvido médio) para um meio líquido (ouvido interno), cerca de 99,9% da energia sonora é refletida devido à discrepância de densidade entre os dois meios. Portanto, apenas 0,1% da energia sonora é efetivamente transmitida para o ouvido interno. Sem a amplificação providenciada pelo ouvido médio, a audição sofreria uma perda significativa, estimada em cerca de 30 dB (Vasconcelos; Garcia, 2009).

O ouvido interno desempenha um papel crucial na transdução de estímulos sonoros em sinais elétricos. Este processo ocorre na cóclea, uma estrutura situada no ouvido interno. A cóclea é caracterizada por sua morfologia semelhante a um caracol, consistindo em três canais enrolados em uma formação espiral. As paredes destes canais são essenciais para a conversão da energia sonora em impulsos elétricos. Estes impulsos são, subsequentemente, transmitidos para o córtex auditivo, onde são interpretados como percepções sonoras (Durán, 2003).

Ao estudar a anatomia e fisiologia do ouvido interno, frequentemente referido como labirinto, é delineado por duas estruturas fundamentais que são coaxiais entre si: o labirinto ósseo e o labirinto membranoso. O primeiro, o labirinto ósseo, é uma formação que compreende cavidades e passagens esculpidas no osso, apresentando uma configuração complexa. Em contraste, o labirinto membranoso é alojado dentro do labirinto ósseo e é primordialmente composto por tubos e sacos de natureza

membranosa, os quais são preenchidos por fluidos. Ressalta-se que o labirinto membranoso é sustentado no interior do labirinto ósseo através de tecido conjuntivo. O espaço intersticial entre estas duas estruturas são preenchidas por um fluido denominado perilinfa. Ademais, a constituição do labirinto ósseo abrange o vestíbulo, três canais semicirculares e a cóclea (Lima, 2012).

Figura 15 - Estrutura anatômica da orelha interna



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Audi%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 13/12/2023.

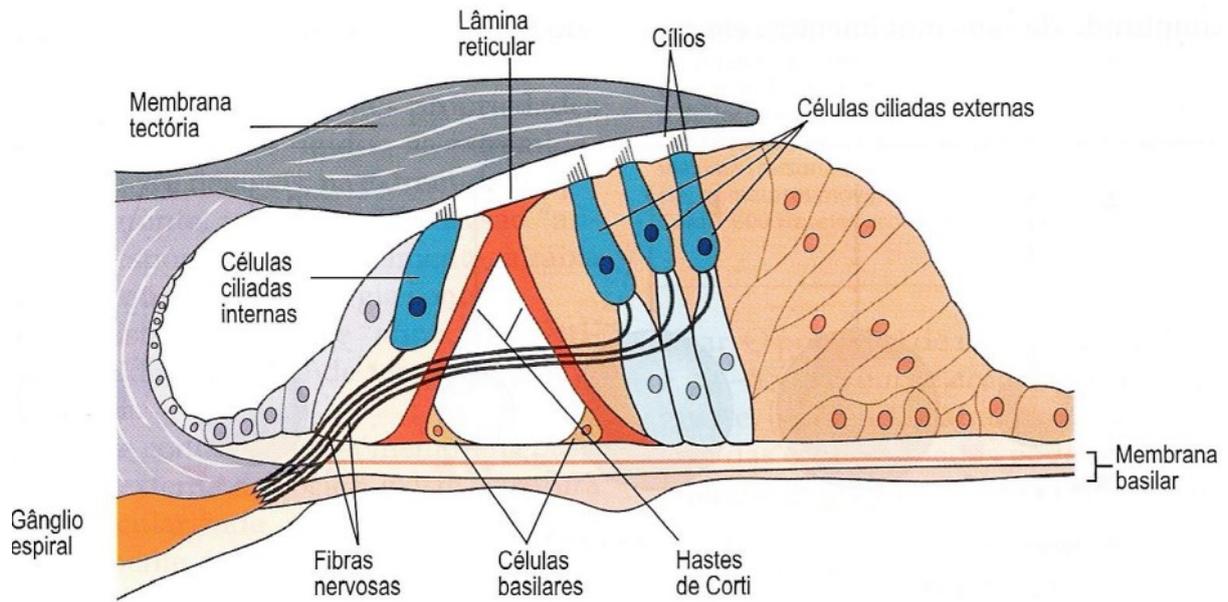
A cóclea é uma estrutura anatômica espiralada composta por um canal ósseo. Internamente, essa estrutura é subdividida, por delicadas lâminas ósseas, resultando na formação de três distintos canais: a rampa vestibular, a rampa média e a rampa timpânica. Notavelmente, a rampa média é preenchida por um fluido denominado endolinfa, caracterizado por uma concentração elevada de íons de potássio e reduzida de sódio. Em contraste, as rampas vestibular e timpânica são inundadas pela perilinfa, fluido com uma composição iônica oposta, isto é, baixa concentração de potássio e alta de sódio. Além disso, a membrana basilar serve como uma divisória entre as rampas média e timpânica. É sobre esta membrana que está localizado o *órgão de Corti*, uma estrutura especializada contendo células ciliadas. Estas células, por sua natureza mecanicamente sensível, desempenham um papel crucial na transdução dos estímulos sonoros em impulsos elétricos (Okuno; Caldas; Chow, 1982).

Nossa estrutura auditiva abriga duas categorias fundamentais de células ciliadas: as internas e as externas. Em detalhamento, o estudo indica a existência de aproximadamente 3.500 células ciliadas internas, com uma morfologia que remete a um frasco, em contraste com as 12.000 células ciliadas externas, que possuem uma conformação mais tubular. A principal função das células ciliadas internas é transmitir ao cérebro as informações dos sons capturados pela cóclea. Por outro lado, as células ciliadas externas detêm a habilidade de potencializar sons de volume reduzido, otimizando a seletividade e acurácia de nossa audição (Lima, 2012).

Um aspecto intrigante sobre essa dinâmica, que embora haja menos células ciliadas internas, elas têm uma conexão mais direta com o cérebro, pois cada uma delas pode se conectar a até 30 fibras nervosas. Por outro lado, várias células ciliadas externas podem compartilhar a mesma conexão nervosa. Os cílios dessas células respondem à direção do som: quando inclinados em uma direção, eles ativam o sistema, e na direção oposta, desativam, liberando assim os neurotransmissores responsáveis por transmitir as informações sonoras ao cérebro (Herman, 2007).

Ao estudar os mecanismos subjacentes à sensação/percepção auditivas, Lima (2012) destaca que estes são complexos e representam um desafio significativo na investigação científica. Contudo, com o advento de tecnologias emergentes tornou-se possível desvendar muitos dos fenômenos enigmáticos que têm lugar no ouvido interno. Estas inovações metodológicas estão iluminando o entendimento sobre como os impulsos nervosos interagem e se propagam até alcançarem o córtex cerebral, permitindo assim uma compreensão mais aprofundada do complexo processo de audição.

Figura 16- Células ciliadas internas e externas no Órgão de Corti



Fonte: <http://fisio2.icb.usp.br:4882/wp-content/uploads/2017/02/TO2017Aula4.pdf> Acesso em: 13/12/2023.

5. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

5.1 METODOLOGIA

No desenvolvimento do produto educacional, conforme os referenciais teóricos adotados, aderiu-se à seguinte metodologia: inicialmente, definiu-se o tema específico a ser tratado; em seguida, procedeu-se a uma revisão bibliográfica aprofundada, objetivando fundamentar a implementação do projeto. Posteriormente, buscou-se uma apropriação do tema, culminando na elaboração do produto educacional intitulado "Sons que não ouvimos: sequência didática para o ensino de Acústica". Após sua concepção, deu-se início à fase de aplicação da mencionada sequência didática, finalizando com a avaliação e subsequente discussão dos resultados obtidos. É relevante mencionar que a revisão bibliográfica, possui um capítulo dedicado a ela nesta dissertação. As demais fases metodológicas serão detalhadas nos segmentos subsequentes.

5.2 ESCOLHA DO TEMA

No contexto da educação e, especificamente, do ensino de Física, o desafio de tornar conceitos teóricos atrativos e compreensíveis para os alunos é constante. Dessa maneira, o tema "Sons que Não Ouvimos: Sequência Didática para o Ensino de Acústica" surge como uma proposta inovadora e relevante para abordar o estudo da Acústica de maneira interativa e contextualizada.

Desde os primeiros contatos com o mundo da Física, a Acústica sempre despertou curiosidade. O universo dos sons, particularmente aqueles que estão além da nossa capacidade de audição, é um campo vasto e cheio de mistérios. A oportunidade de mergulhar nesse tema e explorar sua didática para o ensino médio é a confluência do interesse pessoal com o desejo de contribuir para uma educação científica mais contextualizada e profunda.

No cenário educacional atual, percebe-se que muitos tópicos de Física são apresentados de forma tradicional, descontextualizada e, por vezes, desestimulante. A Acústica, em sua riqueza e aplicabilidade, muitas vezes é reduzida a fórmulas e conceitos abstratos. O foco em sons inaudíveis oferece uma perspectiva intrigante, convidando os alunos a explorarem o desconhecido.

A formação acadêmica e a trajetória profissional até aqui percorrida proporcionaram uma base sólida em métodos didáticos e práticas pedagógicas inovadoras. Essa bagagem, aliada à orientação competente e ao diálogo constante com colegas e alunos, contribui para a aptidão necessária para desenvolver essa sequência didática.

O diálogo contínuo com o orientador foi crucial na escolha do tema. Suas observações, questionamentos e direcionamentos contribuíram significativamente para aprimorar a abrangência do estudo e assegurar sua pertinência, rigor científico e conformidade com os padrões acadêmicos de excelência.

Em suma, a escolha desse tema reflete um compromisso com a educação de qualidade e o interesse pela pesquisa científica. Ao explorar "Sons que não Ouvimos", aspira-se não apenas contribuir para a literatura acadêmica do Ensino de Física, mas também impactar positivamente a trajetória educacional de inúmeros estudantes.

5.3 APROPRIAÇÃO DO TEMA.

A apropriação do tema emergiu de uma constatação preocupante sobre a abordagem tradicional do conteúdo de Acústica no Ensino Médio, muitas vezes reduzido a um tratamento superficial que negligencia sua capacidade de despertar a curiosidade científica dos alunos. A relevância da Acústica, e em particular dos sons inaudíveis como os ultrassons e infrassons, transcende os limites das aulas de Física e permeia diversas aplicações tecnológicas e científicas na contemporaneidade.

O processo de aprofundamento e apropriação deste tema no contexto do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física implicou em uma revisão bibliográfica criteriosa. Esta revisão não se restringiu apenas aos conceitos fundamentais de acústica, ondulatória, infrassons e ultrassons, mas estendeu-se também ao levantamento de metodologias didáticas e abordagens pedagógicas que têm se mostrado eficazes no contexto do processo de ensino-aprendizagem em Física.

Essa busca por referências teóricas se mostrou indispensável para consolidar as bases sobre as quais a Sequência Didática seria construída. No entanto, mais do que oferecer um suporte teórico, a revisão de literatura proporcionou estratégias de ensino que poderiam ser adaptadas, inovadas e implementadas no contexto específico do Ensino Médio.

Em resumo, a etapa de apropriação não apenas forneceu as fundações teóricas e metodológicas para o estudo, mas também iluminou caminhos e práticas pedagógicas que poderiam ser exploradas para tornar o ensino de Acústica mais envolvente, contextualizado e significativo para os alunos do Ensino Médio.

5.4 CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Durante a construção da sequência didática, a prioridade foi estabelecer uma estrutura que estivesse em sintonia com as teorias sociointeracionista e da aprendizagem significativa. Estas teorias orientaram a criação de atividades que valorizassem as interações entre os alunos e que considerassem seus conhecimentos prévios, assegurando uma aprendizagem mais profunda e contextualizada.

Ao definir os conteúdos a serem abordados em cada momento, enfrentou-se o desafio de tornar a Acústica uma matéria acessível e relevante para os estudantes. Isso levou à decisão de estruturar a sequência em cinco momentos distintos, garantindo uma progressão lógica que facilitaria a assimilação dos conceitos. Cada tema foi organizado para atender a um número específico de aulas de 45 minutos, garantindo que os alunos tivessem tempo adequado para compreender e interagir com o material.

A estruturação por momentos iniciou com uma introdução à Acústica e avançando por temas como ondas sonoras e bioacústica, culminando na consolidação e avaliação do aprendizado. Esta organização buscou proporcionar aos alunos uma visão ampla e detalhada da Acústica, permitindo a construção de saberes que conectem o aprendizado teórico com aplicações práticas e experiências do cotidiano.

5.4.1 Primeiro Momento – Introdução à Acústica

Ao idealizar este primeiro momento de introdução à acústica, buscou-se tornar o assunto em algo instigante e relevante para os alunos. O caminho adotado começou pela avaliação dos conhecimentos prévios dos estudantes.

- Diagnosticando o Ponto de Partida: A elaboração de um questionário diagnóstico, foi feita com base na ideia sociointeracionista de que a aprendizagem é

um processo contínuo e que cada aluno traz consigo um conjunto único de experiências e compreensões. O objetivo desse instrumento era obter um retrato fiel das concepções iniciais dos alunos sobre Acústica, nos permitindo moldar as aulas subsequentes de forma a atender às necessidades específicas da turma.

- Conexão com o Cotidiano: A introdução contextualizada sobre Acústica e sua relevância no nosso dia a dia, acompanhada da distribuição de um texto de apoio, buscou estabelecer pontes entre os conceitos técnicos e a realidade dos alunos. Com amparo na teoria da aprendizagem significativa, procurou-se elaborar um material que não apenas apresentasse o conteúdo, mas que também provocasse reflexão, levando os alunos a relacionarem o novo conhecimento com suas experiências cotidianas.

- Apresentação da proposta metodológica: buscou-se compartilhar a estrutura da sequência didática com os alunos neste primeiro momento, com base na noção de que o aluno, ao ter consciência do processo de aprendizagem no qual está inserido, torna-se mais engajado e participativo. Ao antecipar algumas das metodologias e recursos que seriam usados, como experimentos práticos e aplicativos, buscou-se despertar a curiosidade e o interesse dos alunos, mostrando-lhes que a aprendizagem pode ser dinâmica e conectada com o mundo atual.

5.4.2 Segundo Momento – Ondas Sonoras

O segundo momento da sequência didática apresenta aos alunos o conteúdo das ondas sonoras. Com um total de quatro aulas, de 45 minutos cada, buscou-se assegurar que os alunos compreendessem de forma clara e efetiva as características e propriedades das ondas sonoras.

Considerando as teorias sociointeracionista e da aprendizagem significativa, o planejamento buscou estabelecer um ambiente de aprendizado que reconhecesse e integrasse as experiências prévias dos alunos, incentivando a sua participação ativa. Buscou-se fomentar habilidades fundamentais de pesquisa, experimentação e análise de dados, em alinhamento com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Na estruturação da primeira aula, a abordagem escolhida foi expositiva dialogada, utilizando um mapa conceitual como ferramenta pedagógica. A adoção deste recurso buscou estabelecer uma representação visual dos conceitos, pois os alunos poderiam formar conexões mais sólidas e duradouras.

Para a segunda aula, a ênfase foi colocada na inter-relação do som com outros fenômenos ondulatórios. A atividade demonstrativa, contemplou a utilização de um simulador online, projetando uma experiência educacional que mesclasse teoria e prática, ressoando com a abordagem sociointeracionista.

Nas aulas três e quatro, o enfoque foi dirigido aos detalhes específicos da propagação das ondas sonoras, abrangendo aspectos como a velocidade relativa das ondas e sua dependência com variáveis como a temperatura. Mediante experimentos demonstrativos, buscou-se oferecer aos alunos a oportunidade de aplicações práticas, fortalecendo o vínculo entre teoria e realidade.

Ao concluir este segundo momento, a expectativa é a de que os alunos não apenas compreendam as ondas sonoras em sua essência, mas também possam estabelecer conexões desse conhecimento com o cotidiano.

5.4.3 Terceiro Momento - Sons Inaudíveis - Infrassons e Ultrassons

O terceiro momento da sequência didática é direcionado para o estudo dos "Sons Inaudíveis: Infrassons e Ultrassons", planejado para se estender por quatro aulas.

Os objetivos almejados nesta unidade concentraram-se em não apenas proporcionar aos estudantes um entendimento dos conceitos de infrassons e ultrassons, mas também explorar as características e propriedades destes sons. Além disso, este momento foi estruturado para ilustrar as aplicações práticas desses sons em diferentes campos da ciência e tecnologia, visando reforçar habilidades de pesquisa, experimentação e interpretação de dados.

Em observância as teorias sociointeracionista e da aprendizagem significativa, a proposta desse momento foi desenhada para ir além da mera transmissão de informações. Pretende-se que o conteúdo teórico se conecte com as vivências dos alunos, estabelecendo vínculos entre o que será aprendido e o contexto que os rodeia.

Para o primeiro encontro, a estratégia planejada pretende envolver os alunos por meio de perguntas relacionadas às suas experiências cotidianas, tais como "Você já sentiu uma vibração, mas não ouviu o som?" e "Você sabe como os golfinhos se comunicam?". A ideia é que esses questionamentos atuem como estímulos à curiosidade, facilitando a conexão entre o conteúdo e as experiências dos estudantes.

Para complementar essa estratégia, uma videoaula e uma discussão, ancorada em um texto de apoio, foram planejadas.

Na segunda aula, o foco no planejamento recaiu sobre a experimentação, projetando uma atividade em que os alunos possam explorar o espectro auditivo humano. A atividade proposta envolve cada aluno conduzindo seu próprio teste auditivo, buscando uma imersão prática relacionada às suas capacidades auditivas individuais.

No terceiro encontro planejado, a ênfase se mantém na experimentação, com a sugestão de introdução de um *software* para infrassons e um detector de ultrassons. A meta dessa sessão é que os alunos possam interagir com os conceitos de maneira prática, potencializando a compreensão por meio da experimentação.

Por fim, no planejamento da quarta aula, a ideia é recapitular e aprofundar os tópicos por meio de trabalhos em grupo. Esta estratégia visa não só reforçar o aprendizado, mas também fomentar a colaboração, discussão e reflexão crítica. Pretende-se que cada grupo tenha a oportunidade de discutir e, posteriormente, apresentar suas considerações, incentivando debates e consolidando o caráter interativo e dialógico da proposta pedagógica, alinhada às teorias sociointeracionista e da aprendizagem significativa.

5.4.4 Quarto Momento – Bioacústica: Os mistérios do Som no Sistema Auditivo

O quarto momento, direcionado para Bioacústica, é planejado para ser desenvolvido ao longo de duas aulas, buscando não somente instruir os alunos sobre a biofísica da audição, mas também destacando a anatomia e funcionamento do sistema auditivo humano. Almeja-se que os estudantes possam vincular o conteúdo teórico à realidade e reconhecer a diversidade auditiva.

Com base nas teorias sociointeracionista e da aprendizagem significativa, esse momento foi elaborado visando que os alunos não apenas recebam informações, mas também possam contextualizá-las e relacioná-las com suas experiências.

Para a primeira aula, a estratégia é começar com uma abordagem interdisciplinar da Biologia e Física, mostrando como as ondas sonoras são percebidas e processadas pelo sistema auditivo humano. Um vídeo educativo foi inserido com a intenção de atuar como um reforço visual e interativo, potencializando

a compreensão do tópico. Complementarmente, uma discussão ancorada em um texto de apoio permitirá um aprofundamento da compreensão sobre o sistema auditivo.

Na segunda aula inseriu-se a utilização de recurso tecnológico, com intuito de facilitar a imersão dos alunos no conteúdo e proporcionar uma experiência prática de aprendizado. Assim, após a exploração individual do software, um momento de diálogo e compartilhamento foi delimitado, onde os alunos podem discutir suas descobertas e observações. Esta estratégia visa reforçar a aprendizagem através da colaboração, discussão e reflexão, alinhada às teorias sociointeracionista e da aprendizagem significativa.

5.4.5 Quinto Momento - Verificação de Aprendizagem

No quinto e último momento da sequência didática, o propósito é avaliar o progresso dos alunos desde o início. A avaliação formativa, proposta aqui, considera o aluno em sua trajetória completa, identificando não apenas o que ele sabe, mas como ele chegou lá. A avaliação, portanto, é projetada não apenas para testar o conhecimento adquirido, mas também para ver como os alunos conectaram esses novos conhecimentos ao que já sabiam no início, refletido pelo questionário inicial.

Optou-se pelo uso da tecnologia para aplicação deste momento, especificamente o *Google Forms*, buscando alinhar-se às tendências contemporâneas de ensino e, simultaneamente, reconhecendo a familiaridade que os alunos possuem com o mundo digital. Além de otimizar o tempo e reduzir o uso de recursos físicos, como o papel, a avaliação online tem a vantagem de fornecer resultados quase instantâneos, facilitando a tarefa do educador em analisar os dados.

5.5 IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A Sequência Didática foi aplicada no primeiro semestre de 2022, totalizando 13 aulas, onde o público-alvo foi uma turma do segundo ano do Novo Ensino Médio, frequentada por 20 alunos, da Escola de Educação Básica Coronel José Maurício dos Santos, situada no município de Laguna (SC), pertencente a rede estadual de educação. A tabela 3 descreve o cronograma de implementação da Sequência Didática.

Tabela 3 - Cronograma de Implementação da Sequência Didática

Encontro	Momento	Número de Aulas
1º	Introdução à Acústica	2
2º	Ondas Sonoras	1
3º	Ondas Sonoras	1
4º	Ondas Sonoras	2
5º	Sons Inaudíveis	2
6º	Sons Inaudíveis	1
7º	Sons Inaudíveis	1
8º	Bioacústica	2
9º	Verificação de Aprendizagem	1

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

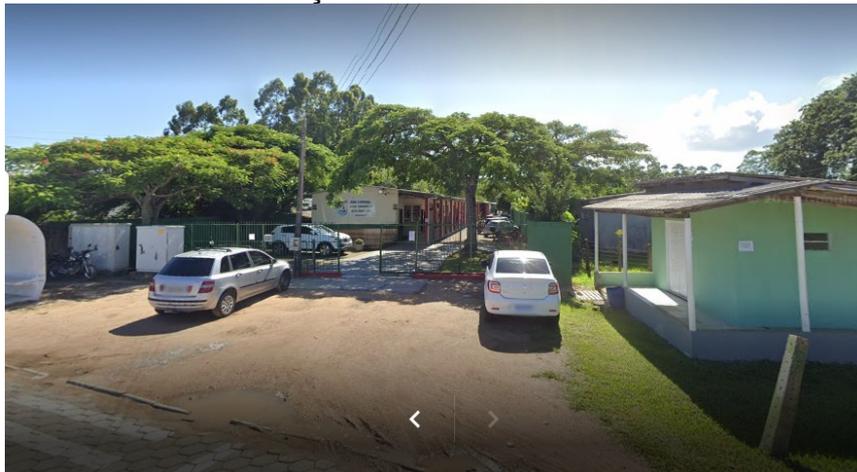
5.5.1 Unidade escolar e público-alvo:

A sequência didática foi realizada na Escola de Educação Básica Coronel José Maurício dos Santos, situada na comunidade de Caputera, em Laguna (Santa Catarina). As atividades foram desenvolvidas entre março e maio de 2022, com uma turma do 2º ano do Novo Ensino Médio, que estudava no período da manhã. Dentre os 20 estudantes frequentes da turma, havia um aluno com deficiência auditiva, que era acompanhado por uma professora especialista em libras.

No 2º ano do Novo Ensino Médio (NEM), o currículo previa uma aula semanal de Física. No entanto, a implementação do produto didático exigiu um total de 13 aulas, conforme delineado nos momentos da sequência didática proposta. Para viabilizar a aplicação sem comprometer o currículo principal, recorreu-se ao componente flexível do currículo, denominado por trilhas de aprofundamento.

A trilha denominada "Eureka: investigação no mundo da ciência" disponibilizava três aulas semanais de Física, além de três de química e quatro de biologia. Optou-se por usar as três aulas semanais de Física da trilha "Eureka", dada a relevância e alinhamento do produto acadêmico com o campo das ciências da natureza e suas tecnologias. Dessa forma, o componente básico, que contempla apenas uma aula semanal de Física, permaneceu intacto, assegurando a integridade do currículo base

Imagem 4- Escola de Educação Básica Coronel José Maurício dos Santos



Fonte: *Google Maps*

5.5.2 O novo Ensino Médio

A Lei nº 13.415/2017, que altera a Lei de Diretrizes e Bases da Educação, trouxe algumas alterações significativas na estrutura do Ensino Médio. Entre as mudanças mais notáveis destacam-se a reorganização do currículo e o aumento da carga horária mínima anual de 800 para 1.000 horas até 2022, com uma expansão gradual planejada para 1.400 horas anuais (Brasil, 2017).

Adicionalmente, a lei distribui uma divisão no currículo entre uma Formação Geral Básica, com uma carga horária máxima de 1.800 horas ao longo de três anos, e uma Parte Flexível, que deve incluir pelo menos 1.200 horas nesse mesmo período. Essas mudanças foram fundamentadas na BNCC, a qual define os direitos e objetivos de aprendizado no Ensino Médio e organiza os componentes curriculares em quatro Áreas do Conhecimento: Linguagens e suas tecnologias; Matemática e suas tecnologias; Ciências da Natureza e suas tecnologias e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (Brasil, 2017).

A Parte Flexível do novo currículo engloba os chamados Itinerários Formativos, que, no Estado de Santa Catarina, incluem áreas como Projeto de Vida, Segunda Língua Estrangeira, Componentes Curriculares Eletivos e Trilhas de Aprofundamento. Estas últimas têm a capacidade de se concentrar numa única área de conhecimento, integrar duas ou mais áreas ou, ainda, focar numa formação técnica e profissional (Santa Catarina, 2022).

Figura 17 - Formação básica do Novo Ensino Médio

BNCC	ÁREA DO CONHECIMENTO	COMPONENTES CURRICULARES	CARGA HORÁRIA						Carga horária total (h)	
			1ª série		2ª série		3ª série			
			Carga horária semanal (h/a)	Carga horária anual (h)	Carga horária semanal (h/a)	Carga horária anual (h)	Carga horária semanal (h/a)	Carga horária anual (h)		
BNCC - Formação Geral Básica	Linguagens e suas Tecnologias	Língua Portuguesa e Literatura	2	64	2	64	2	64	192	
		Educação Física	2	64	1	32	1	32	128	
		Arte	2	64	1	32	1	32	128	
		Língua Estrangeira Inglês	2	64	2	64	2	64	192	
	Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Química	2	64	1	32	1	32	128	
		Física	2	64	1	32	1	32	128	
		Biologia	2	64	1	32	1	32	128	
	Ciências Humanas e Sociais Aplicadas	Geografia	2	64	1	32	1	32	128	
		História	2	64	1	32	1	32	128	
		Filosofia	2	64	1	32	1	32	128	
	Matemática e suas Tecnologias	Sociologia	2	64	1	32	1	32	128	
		Matemática	3	96	2	64	2	64	224	
	Carga Horária Total - Formação Geral Básica			25	800	15	480	15	480	1760

Fonte: Santa Catarina (2022)

Figura 18 - Parte flexível do Novo Ensino Médio

Itinerário Formativo	Projeto de Vida	2	64	2	64	2	64	192
	Projeto de Culminância em Projeto de Vida		8		8		8	24
	Segunda Língua Estrangeira	2	64	2	64	2	64	192
	Componente Curricular Eletivo	2	64	2	64	2	64	192
	Trilha de Aprofundamento	0	0	10	320	10	320	640
	Carga Horária Total - Itinerário Formativo	6	200	16	520	16	520	1240
CARGA HORÁRIA SEMANAL / CARGA HORÁRIA ANUAL		31	1000	31	1000	31	1000	3000

Fonte: Santa Catarina (2022)

Nesse novo formato do currículo do Ensino Médio, houve uma diminuição do número de aulas dos componentes da formação básica, como mostra o quadro acima. As aulas de Física no 1º ano do NEM inicia com 2 aulas semanais, já no 2º e 3º ano do NEM cai para 1 aula semanal. Esta redução no número de aulas dos componentes da formação básica, se justifica para abrir espaço para a parte flexível, como projeto de vida, segunda língua estrangeira, componente eletivo e trilha de aprofundamento, este último sendo acrescentado a partir do 2º ano do NEM (Santa Catarina, 2022).

Essa regulamentação do currículo do ensino médio, embora tenha provocado a redução no número de aulas de componentes da formação básica, como a Física, tem como objetivo fundamental proporcionar aos estudantes uma educação mais flexível e alinhada às suas necessidades e interesses individuais. Ao abrir espaço para a parte flexível do currículo, os alunos ganham a oportunidade de explorar áreas de seu interesse, desenvolver habilidades específicas e, assim, preparar-se de maneira mais direcionada para o futuro, seja no ensino superior ou no mercado de trabalho (Santa Catarina, 2022).

A introdução de elementos como projeto de vida, segunda língua estrangeira, componentes eletivos e trilhas de aprofundamento não apenas amplia o leque de

conhecimentos disponíveis, mas também fomenta o desenvolvimento de competências essenciais, como autonomia, pensamento crítico e capacidade de resolução de problemas. Essas habilidades são cruciais em um mundo em constante transformação, onde a capacidade de se adaptar e aprender continuamente é fundamental (Santa Catarina, 2022).

Portanto, embora haja uma redução no tempo dedicada a certas disciplinas básicas, a mudança no currículo do ensino médio representa um passo importante na promoção de uma educação mais personalizada e significativa. Ao proporcionar aos estudantes a oportunidade de moldar parte de sua jornada educacional de acordo com seus interesses e aspirações, o sistema educacional está se adaptando para melhor atender às necessidades dos alunos, preparando-os não apenas para os desafios acadêmicos, mas também para a complexidade do mundo real. Essa abordagem, orientada pela flexibilidade e individualidade, tem o potencial de gerar aprendizado mais profundo, engajamento dos estudantes e, em última análise, cidadãos mais preparados e realizados.

5.5.3 Aplicação do produto educacional

Primeiro Encontro: No dia 16 de março de 2022, foi realizada a primeira etapa da sequência didática. O encontro, com duração de duas aulas de 45 minutos cada, foi estruturado com o propósito de atender a múltiplos objetivos, desde diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos em relação à Acústica até introduzir conceitos fundamentais da área e instigar a curiosidade dos estudantes.

Para este encontro, os materiais requeridos, incluindo as cópias impressas do questionário/diagnóstico para sondar os conhecimentos preliminares dos estudantes sobre Acústica e o texto de apoio relacionado ao tema estavam devidamente preparados. As atividades do encontro se desdobraram em três fases principais:

- **Diagnóstico do Conhecimento Prévio:** O encontro se iniciou com a distribuição do questionário aos estudantes. Eles tiveram entre 15 e 20 minutos para preencher o questionário, e ao final deste período, os questionários foram recolhidos. Este diagnóstico permitiu avaliar o grau de familiaridade dos alunos com a Acústica e suas nuances. Esta etapa foi crucial, pois proporcionou percepções sobre quais conteúdos precisariam de um reforço ou adaptação no decorrer da sequência didática.

- **Introdução aos Conceitos Básicos da Acústica:** Após a coleta dos questionários, foi a vez de adentrar os conceitos da Acústica. Uma breve contextualização sobre a relevância da Acústica no cotidiano foi apresentada, seguida da entrega do texto de apoio. A leitura deste material tinha a intenção de aguçar a curiosidade dos alunos, convidando-os à reflexão e ao debate. Assim, após a exposição do conteúdo, os alunos foram incentivados a compartilhar suas impressões, criando um ambiente de diálogo e construção coletiva do conhecimento.

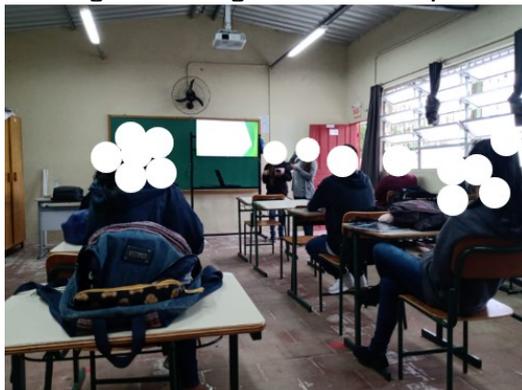
- **Apresentação da Proposta Metodológica:** Os minutos finais da aula foram reservados para uma breve explanação sobre o que os alunos poderiam esperar das próximas etapas da sequência didática.

Segundo encontro: No segundo encontro da sequência didática, ocorrido em 17 de março de 2022, a aula se desenrolou em uma única sessão e adotou uma abordagem expositiva dialogada, fortalecendo o processo de ensino-aprendizagem da Acústica.

Assim que a aula começou, os slides, que fazem parte do produto didático, foram projetados, enquanto cada aluno recebeu uma cópia do mapa conceitual. Este mapa conceitual serviu como um pilar central para a exposição do conteúdo, funcionando como um guia visual que interligava os conceitos apresentados nos slides. Durante a exposição, houve uma ênfase na conexão constante entre os slides e o mapa, garantindo que os alunos pudessem visualizar e entender as relações e hierarquias entre os diversos conceitos da Acústica.

Ao final da aula, o valor e a utilidade do mapa conceitual foram reforçados. Os estudantes foram orientados sobre a importância de tal ferramenta para a organização e consolidação de seu conhecimento. Além disso, foi salientado que, à medida que aprofundassem seu estudo sobre Acústica, deveriam visitar e, se necessário, atualizar o mapa, garantindo que este refletisse o entendimento contínuo sobre o tema.

Imagem 5 - Registro fotográfico da Sequência Didática



Fonte: Acervo da autora (2022).

Terceiro encontro: No terceiro encontro da sequência didática, ocorrido em 23 de março de 2022, o objetivo principal foi proporcionar aos alunos uma compreensão aprofundada sobre a diferença entre ondas sonoras e ondas eletromagnéticas, através de uma abordagem prática e visual.

A aula iniciou-se com uma revisão breve dos conceitos essenciais sobre ondas sonoras e sua relação com outros tipos de ondas. Buscou-se destacar a distinção entre a luz, como representante das ondas eletromagnéticas, e o som, como representante das ondas sonoras.

O foco, então, se voltou para a demonstração prática, conforme delineado no produto acadêmico. Através da plataforma *Physics Animations/Simulations*, os alunos puderam visualizar e comparar, de forma interativa, as velocidades da luz e do som. Os estudantes puderam observar diretamente o intervalo entre o efeito luminoso de um raio e o som correspondente, solidificando o entendimento de que os fenômenos luminosos são percebidos mais rapidamente que os sonoros. Cada simulação, com distâncias variadas do observador, foi observada e discutida.

A demonstração culminou na construção coletiva de uma tabela de dados observados, solidificando o aprendizado e permitindo uma visão clara e numérica das observações, e para reforçar ainda mais o aprendizado, a aula se encerrou com a projeção de imagens de fogos de artifício e de um jogador de futebol chutando a bola ao gol. Estes exemplos cotidianos foram utilizados para que os alunos internalizassem o conceito de que a luz (fenômeno visual) chega aos nossos olhos mais rapidamente que o som correspondente.

Imagem 6 - Registro fotográfico da Sequência Didática



Fonte: Acervo da autora (2022).

Quarto encontro: Em 30/03/2022, o quarto encontro da sequência didática reuniu os alunos para aprofundar seus conhecimentos sobre a propagação de ondas sonoras. Com a duração de duas aulas, o encontro foi estruturado em uma combinação de exposição teórica e prática experimental. A aula se iniciou com uma breve revisão dos conceitos básicos sobre propagação de ondas sonoras e suas características. Esse momento foi essencial para que os alunos relembassem os conteúdos abordados nas aulas anteriores.

O tema da velocidade relativa das ondas sonoras foi introduzido, com um enfoque especial para o contexto em que o ar está em movimento. O texto de apoio foi uma ferramenta de grande valia nesse momento, sendo utilizado para fomentar a discussão e esclarecer as dúvidas dos alunos.

Com a teoria bem estabelecida, a aula prosseguiu para uma etapa prática, seguindo o roteiro disponível no produto acadêmico. O kit experimental por nós desenvolvido neste projeto propiciou uma experiência detalhada e envolvente. A primeira experimentação focou na demonstração da medição da velocidade do som no ar com variações de temperatura ao longo do tempo. Os alunos puderam observar, em tempo real, como a temperatura afeta a velocidade de propagação do som.

A segunda experimentação tratou do "problema da velocidade relativa" ao se propagar o som em um ar em movimento. Utilizando um secador de cabelo no modo ar frio, simulou-se o movimento relativo do ar. Esse experimento permitiu aos alunos visualizarem e entenderem melhor o fenômeno da propagação sonora em um meio em movimento.

Imagem 7 - Registro fotográfico da Sequência Didática



Fonte: Acervo da autora (2022).

Quinto encontro: Em 06/04/2022, os alunos se reuniram para o quinto encontro da sequência didática, ocasião em que se passou a abordagem dos sons inaudíveis. Inicialmente foram lançadas questões instigantes que capturaram a atenção dos alunos. Ao perguntar “como os golfinhos em nossa cidade se comunicam?”, desencadeou-se a curiosidade dos alunos. Tal questão, aparentemente simples, abriu caminho para a exploração de fenômenos acústicos que frequentemente passam despercebidos em nosso cotidiano.

Após a breve introdução reflexiva, os alunos foram apresentados a um vídeo de aproximadamente três minutos e meio sobre os sons inaudíveis que foi produzido no âmbito de uma disciplina do MNPEF pela autora. Em seguida, foi conduzida uma discussão guiada baseada no texto de apoio disponível no produto acadêmico. Incentivados a compartilhar e relacionar o conteúdo com suas experiências pessoais, os alunos trouxeram relatos variados, desde o sentir de vibrações de aparelhos eletrônicos até histórias de interações com animais de estimação e suas respostas a sons imperceptíveis ao ser humano.

Imagem 8 - Registro fotográfico da Sequência Didática



Fonte: Acervo da autora (2022).

Sexto encontro: No sexto encontro da sequência didática, realizado em 07/04/2022, após um breve introdutório, a aula começou com um teste experimental: o Teste de Frequência. Cada aluno, de forma individual e seguindo o roteiro estipulado no produto acadêmico, foi conduzido a acessar um vídeo/simulador de frequência que explorava a amplitude sonora do ouvido humano. Esta atividade permitiu que os alunos identificassem a frequência em que o som se tornou audível e quando se tornou inaudível para eles, o que permitiu demonstrar empiricamente a variabilidade da sensibilidade auditiva humana.

No segmento da aula incentivou-se uma reflexão coletiva sobre a atividade experimental. Com base nas anotações dos alunos, foi possível verificar as variações nas faixas de audição. Os alunos foram incentivados a relacionar o conteúdo dos textos de apoio com os resultados do teste simulado, o que possibilitou uma troca de experiências e compreensões para valorização da diversidade humana.

Sétimo encontro: No sétimo encontro da sequência didática, realizado no dia 07/04/2022, os participantes foram apresentados ao programa *SDR Sharp*, que oportunizou aos alunos visualizarem, em tempo real, o comportamento dos infrassons em atividades cotidianas. Observaram a porta oscilando e, em seguida, os gráficos gerados pelo software, os alunos puderam associar uma ação física com sua representação gráfica no mundo dos infrassons. Esta experiência sensorial fortaleceu o entendimento, pois ancorou a teoria em algo tangível.

O segundo experimento, envolveu o detector de ultrassons, revelando um mundo de frequências inaudíveis que coexistem conosco diariamente. Apesar da profundidade técnica envolvida nesses experimentos, o formato didático e a

abordagem pedagógica adotada facilitaram o entendimento. Os vídeos anexados aos experimentos enriqueceram a experiência, pois ofereceram um suporte visual e auditivo que complementou a prática em sala de aula.

Oitavo Encontro: O encontro do dia 20/04/2022 marcou um ponto de virada na sequência didática, introduzindo uma perspectiva interdisciplinar e mostrando aos alunos como os campos da Biologia e da Física se entrelaçam ao estudarmos a audição. Distribuídas em duas aulas, as atividades desse dia buscaram unir o entendimento teórico com a aplicação tecnológica.

A primeira aula iniciou-se com uma introdução a audição, explorando a maneira como as ondas sonoras, fenômenos físicos, são captadas, transformadas e interpretadas por nosso complexo sistema biológico. O vídeo educativo, disponível no produto acadêmico, foi uma ferramenta didática excepcional para visualizar e compreender o funcionamento auditivo. Com gráficos e explicações claras, os estudantes puderam conhecer a anatomia e a fisiologia do ouvido. No segundo momento da aula usando um software interativo como ferramenta principal de aprendizado, permitiu-se explorar o sistema auditivo de maneira tridimensional e interativa.

Nono Encontro: No nono encontro em 21/04, o foco foi avaliar a compreensão dos alunos sobre o conteúdo da sequência didática. Para tanto, como ferramenta digital utilizou-se o *Google Forms*. Optou-se pela utilização dos dispositivos móveis dos estudantes para envio do *link* da avaliação. Os alunos, ao acessarem o *link* fornecido, responderam questões que contemplavam os principais temas da sequência didática. Esta ferramenta não só agilizou a coleta de respostas, mas também permitiu uma análise rápida do desempenho dos estudantes.

Em resumo, o nono encontro reafirmou o papel crucial da tecnologia na educação e o comprometimento do educador em atender às necessidades dos alunos. Este momento de avaliação serviu para medir o entendimento dos estudantes. Através do uso do *Google Forms*, obteve-se uma perspectiva em tempo real do desempenho da turma. Esta ferramenta permitiu finalizar a sequência didática enfatizando uma discussão construtiva sobre as dificuldades enfrentadas, promovendo interações sociais e assegurando uma aprendizagem mais significativa e contextualizada para os alunos.

5.6 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

A teoria sociointeracionista, proposta por Lev Vygotsky, ressalta que a aprendizagem é um processo social, onde o sujeito constrói seu conhecimento através de interações com outros indivíduos e com o ambiente. Por outro lado, a teoria da aprendizagem significativa, introduzida por David Ausubel, argumenta que os novos conhecimentos são assimilados com base em estruturas cognitivas previamente estabelecidas, gerando assim uma aprendizagem que é significativa e duradoura para o aprendiz.

Neste tópico, a análise se concentra no impacto da sequência didática implementada, especialmente na sua capacidade de promover o processo de ensino e aprendizagem. Tendo como fundamento essas duas teorias, o objetivo é compreender até que ponto as atividades propostas estimularam interações significativas entre os alunos e, ao mesmo tempo, proporcionaram uma construção do conhecimento que se relacione com as estruturas cognitivas prévias dos estudantes.

Para tal análise dos resultados, foram consideradas diversas fontes de dados. Primeiramente, o questionário inicial, administrado com o propósito de verificar os conhecimentos prévios dos estudantes e estabelecer um ponto de partida para o desenvolvimento das atividades; foi observada a participação e o interesse dos alunos, que servem como indicadores do engajamento e potencial assimilação do conteúdo; as respostas obtidas através das atividades e questionários subsequentes serviram também como um termômetro para medir o progresso e os principais desafios.

Além desses instrumentos, a sequência didática, ao potencializar o uso de metodologias diversificadas, ofereceu outras fontes para análise: os textos de apoio forneceram percepções sobre a capacidade dos alunos de conectar informações escritas com suas estruturas cognitivas existentes; A participação e o envolvimento nas simulações práticas e atividades experimentais também fornecem indicadores para entender como os alunos aplicam o conhecimento teórico em situações práticas e simuladas; e, finalmente, as discussões em grupo fornecem percepções que possibilitam identificar o nível de interação e construção colaborativa do conhecimento, um pilar da teoria sociointeracionista.

5.6.1 Análise das respostas obtidas no questionário inicial.

A aplicação do questionário inicial, contou com a participação dos 20 alunos, buscou-se identificar o grau de compreensão e as concepções prévias dos estudantes sobre o tema da sequência didática voltada para o Ensino de Acústica. A análise das respostas foram fundamentais para determinar os pontos que necessitam de maior atenção e estratégias didáticas diferenciadas, considerando as teorias sociointeracionista e da aprendizagem significativa. O quadro abaixo apresenta um panorama das respostas obtidas.

Quadro 1 – Panorama das respostas do Questionário Inicial

Respostas após a aplicação do Questionário Inicial			
	Concordo	Discordo	Tenho Dúvidas
1. No contexto da Física, pode-se afirmar que uma onda sonora é um movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio material.	18	2	
2. A frequência de uma onda sonora afeta a altura do som que ouvimos.	19	1	
3. A unidade de medida da frequência é o Hertz (Hz), que corresponde a um ciclo por segundo.	8	5	7
4. O som é uma onda mecânica, portanto, necessitam de um meio material para se propagarem.	15	5	
5. Uma onda percorre a distância de um comprimento de onda no intervalo de tempo igual a um período. Sendo que a relação entre o comprimento de onda, o período e a velocidade da onda são dados por uma equação.	8	2	10
6. O período (T) de uma onda é o intervalo de tempo para que cada ponto do meio por onde a onda se propaga execute uma oscilação completa. No caso de uma onda sonora, o período é o tempo que leva para a onda completar um ciclo completo de oscilação.	5		15
7. O período de uma onda sonora é inversamente proporcional à frequência, ou seja, quanto maior a frequência, menor será o período da onda.	10	6	4
8. A amplitude de uma onda sonora está relacionada com a intensidade do som, que representa o volume do som.	15	3	2

9. O comprimento de onda é representado pela letra grega lambda (λ) e pode ser calculado usando a equação fundamental das ondas: velocidade = comprimento de onda / período.	4	9	7
10. A Acústica é a área da Física que também estuda as características do som.	14	2	4
11. O som é uma onda mecânica.	17	3	
12. Quando as ondas sonoras chegam ao nosso ouvido, elas são transformadas em sinal elétrico através da pressão acústica	14	4	2
13. Os seres humanos são capazes de ouvir uma faixa de frequências sonoras, chamada de espectro audível, que se estende entre 20 Hz e 20.000 Hz, aproximadamente.	13	3	4
14. Sons com frequências abaixo de 20 Hz são chamados de infrassons e sons com frequências acima de 20.000 Hz são chamados de ultrassons, esses sons não podem ser ouvidos pelo ouvido humano, mas podem ser percebidos por outros animais ou por meio de equipamentos especiais.	13	1	6

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Conforme o panorama das respostadas apresentadas acima, algumas observações relevantes podem ser feitas:

a) Concepções Básicas sobre Ondas Sonoras: Nota-se que uma expressiva maioria dos alunos apresentou clareza em relação à natureza básica das ondas sonoras, como é evidenciado pelas respostas às afirmativas 1, 2, 4 e 11. Por exemplo, 18 dos 20 alunos concordaram com a definição de uma onda sonora como uma perturbação que se propaga através de um meio material. Estes resultados sugerem que os conceitos fundamentais de ondas sonoras já se encontravam bem estabelecidos entre os alunos.

b) Frequência e Hertz: Enquanto a maioria compreende a relação entre frequência e altura do som, observa-se uma lacuna no entendimento sobre a unidade de medida da frequência, o Hertz. A afirmativa 3 mostrou que quase metade dos alunos ou discorda ou possui dúvidas sobre esta definição. Essa é uma área onde a teoria da aprendizagem significativa pode ser aplicada, vinculando o conceito de Hertz a conhecimentos prévios dos alunos para facilitar a compreensão.

c) Compreensão de Relações e Propriedades das Ondas: As respostas às afirmativas 5, 6, 7 e 9 indicam que muitos alunos ainda têm dúvidas ou concepções errôneas sobre as relações e propriedades das ondas sonoras, como comprimento

de onda, período e sua inter-relação. Estes tópicos podem se beneficiar da abordagem sociointeracionista, onde discussões em grupo, experimentos práticos e interações com o grupo poderiam ser usados para construir e solidificar esses conceitos.

d) Conceitos específicos de Acústica: A maioria dos alunos parece entender a relação entre amplitude e volume do som, assim como as características básicas do som em relação à acústica e ao espectro audível humano. No entanto, conceitos mais específicos, como infrassons e ultrassons, ainda apresentam algum grau de incerteza entre os alunos, conforme visto na afirmativa 14.

e) Conceitos de Transformação do Som: A afirmativa 12, sobre a transformação das ondas sonoras em sinal elétrico, mostrou uma divisão nas respostas, indicando que este é um conceito que necessitava de maior exploração em sala de aula.

A análise deste questionário inicial revela que, enquanto os alunos possuem uma compreensão razoável de conceitos básicos de ondas sonoras, existem áreas específicas que necessitam de reforço e abordagens didáticas inovadoras. A aplicação da sequência didática, fundamentada nas teorias de ensino aprendizagem sociointeracionista e da aprendizagem significativa poderia oferecer novos direcionamentos para abordar esses pontos de forma eficaz, promovendo uma compreensão mais profunda e integrada do tema da acústica.

5.6.2 Participação e interesses dos alunos pela sequência didática

A sequência didática proposta buscou uma abordagem inovadora no ensino de acústica, e a participação e o interesse demonstrados pelos alunos ao longo da aplicação da sequência serviram como evidências claras de seu impacto. Os indicadores de engajamento e potencial assimilação do conteúdo foram notáveis, o que sugere uma efetiva conexão entre os alunos e o material proposto.

Ao analisar o envolvimento dos estudantes nas simulações práticas e atividades experimentais, tornou-se evidente que a aplicação do conhecimento teórico em situações práticas e simuladas é uma estratégia pedagógica acertada. Essa observação está alinhada com a teoria da aprendizagem significativa: muitos estudantes, quando visualizavam e manipulavam as experiências práticas relacionadas à acústica com foco nos infrassons e ultrassons, conseguiam associar

os conceitos teóricos a seus conhecimentos prévios, o que parece ter facilitado uma maior internalização do conteúdo.

Além disso, as discussões em grupo mostraram um nível considerável de interação e construção colaborativa do conhecimento. Sob o enfoque sociointeracionista, observou-se que os momentos em que os alunos trocavam ideias e debatiam conjuntamente os conceitos apresentados eram ricos em descobertas e solidificação do conhecimento. A diversidade de percepções e entendimentos ampliou as discussões, evidenciando a importância de proporcionar espaços para que os estudantes verbalizem, confrontem e aprofundem seus conhecimentos.

Ao analisar a aplicação da sequência didática como um todo, nota-se que a proposta conseguiu engajar os alunos em um nível profundo, tanto em termos de interação prática com os fenômenos acústicos quanto na interação colaborativa entre os participantes. Esses indicadores refletem o potencial desta sequência didática em promover não apenas a aquisição de conteúdo, mas também o desenvolvimento de habilidades essenciais no processo educativo.

Em síntese, a sequência didática demonstrou ser uma proposta eficaz no ensino de Acústica, promovendo um aprendizado que é ao mesmo tempo significativo e colaborativo. Essa análise ressalta a importância de abordagens pedagógicas inovadoras e centradas no aluno, que considerem tanto a teoria quanto a prática no processo de ensino-aprendizagem.

5.6.3 Análise da verificação de aprendizagem

Os documentos que norteiam o processo avaliativo conforme a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Brasil, 1996), determina que a avaliação seja contínua e cumulativa, orientando que os aspectos qualitativos prevaleçam sobre os quantitativos, respeitando as especificidades de cada sujeito. Essa abordagem de avaliação visa considerar e enaltecer o progresso dos estudantes ao longo de sua jornada educacional, rompendo com a prática tradicional de julgar respostas como corretas ou incorretas durante as avaliações.

Conforme o caderno de orientações para a implementação do Novo Ensino Médio (Santa Catarina, 2019), esses princípios também são definidos para avaliar a aprendizagem, onde há um compromisso de aplicar métodos de avaliação variados em diferentes disciplinas das áreas de conhecimento. Esses métodos devem facilitar

a reflexão dos estudantes sobre seus erros e acertos, ajudando-os a compreender as razões por trás dos erros e a desenvolver estratégias para alcançar os objetivos propostos. Isso visa capacitar os estudantes a se tornarem independentes nesse processo de aprendizagem.

No contexto do Currículo Base do Território Catarinense, a avaliação é legitimada pelo princípio fundamental de que todos os estudantes aprendam juntos, sempre que possível, independentemente das dificuldades ou diferenças que possam existir entre eles. Esse princípio reflete uma filosofia escolar inclusiva, na qual o diálogo com os alunos é construído considerando suas individualidades (Santa Catarina, 2014).

O processo de verificação de aprendizagem proporciona um panorama sobre o percurso didático trilhado pelos alunos. A análise das respostas permite não só avaliar o nível de assimilação dos conteúdos, mas também a eficácia das metodologias aplicadas e a necessidade de reforços ou revisões.

A avaliação da aprendizagem foi estruturada em 10 questões de múltipla escolha, as quais abordaram o conteúdo central da sequência didática aplicada com os alunos. Utilizou-se a ferramenta *Google Forms*, que permitiu a criação e compartilhamento do questionário de maneira digital, assim, os próprios alunos puderam responder às questões usando seus smartphones, facilitando a participação e garantindo uma abordagem mais alinhada às práticas digitais atuais. No quadro a seguir, estão detalhadas as questões que compuseram essa avaliação.

Quadro 2 - Questões aplicadas na Verificação de Aprendizagem

Questão 1. A frequência de uma onda sonora afeta a altura do som que ouvimos?

- a) Sim, a frequência de uma onda sonora afeta a altura do que ouvimos.
(Resposta esperada)
- b) Não, a frequência de uma onda sonora afeta apenas a intensidade do som
- c) Sim, a frequência de uma onda sonora afeta a velocidade do som, não a altura
- d) Não, a frequência de uma onda sonora não tem impacto no que percebemos

Questão 2. O que é infrassom?

- a) Sons com frequência menor que o limite audível humano, abaixo de 20 Hz.
(Resposta esperada)
- b) Sons com frequência maior que o limite audível humano, acima de 20.000 Hz.
- c) Sons com frequência exatamente em 20 Hz.
- d) Sons com frequência menor que o limite audível humanos, abaixo de 1.000 Hz.

Questão 3. Qual é o termo usado para descrever a qualidade do som que determina se ele é grave ou agudo?

- a) Intensidade
- b) Frequência (Resposta esperada)
- c) Timbre
- d) Amplitude

Questão 4. Qual é a unidade de medida da frequência de um som?

- a) watts
- b) hertz (Hz) (Resposta esperada)
- c) decibéis (dB)
- d) joules

Questão 5. Para que os ultrassons são comumente usados na medicina?

- a) Para cozinhar alimentos rapidamente
- b) Para diagnosticar e visualizar órgãos internos e estruturas no corpo humano (Resposta esperada)
- c) Para comunicação entre morcegos
- d) Para criar efeitos de som em filmes de Hollywood

Questão 6. Como os morcegos utilizam o ultrassom?

- a) Para criar música
- b) Para orientação e localização de presas durante o voo (Resposta esperada)
- c) Para se comunicar com outros morcegos
- d) Para resfriar seus corpos

Questão 7. Onde ocorre a transdução de alguns sinais elétricos no sistema auditivo?

- a) Tímpano
- b) Cóclea (Resposta esperada)
- c) Martelo
- d) Na orelha interna

Questão 8. Como a física define o som?

- a) O som é uma onda mecânica
- b) O som é uma onda eletromagnética
- c) O som é uma onda mecânica longitudinal (Resposta esperada)
- d) O som é uma onda transversal

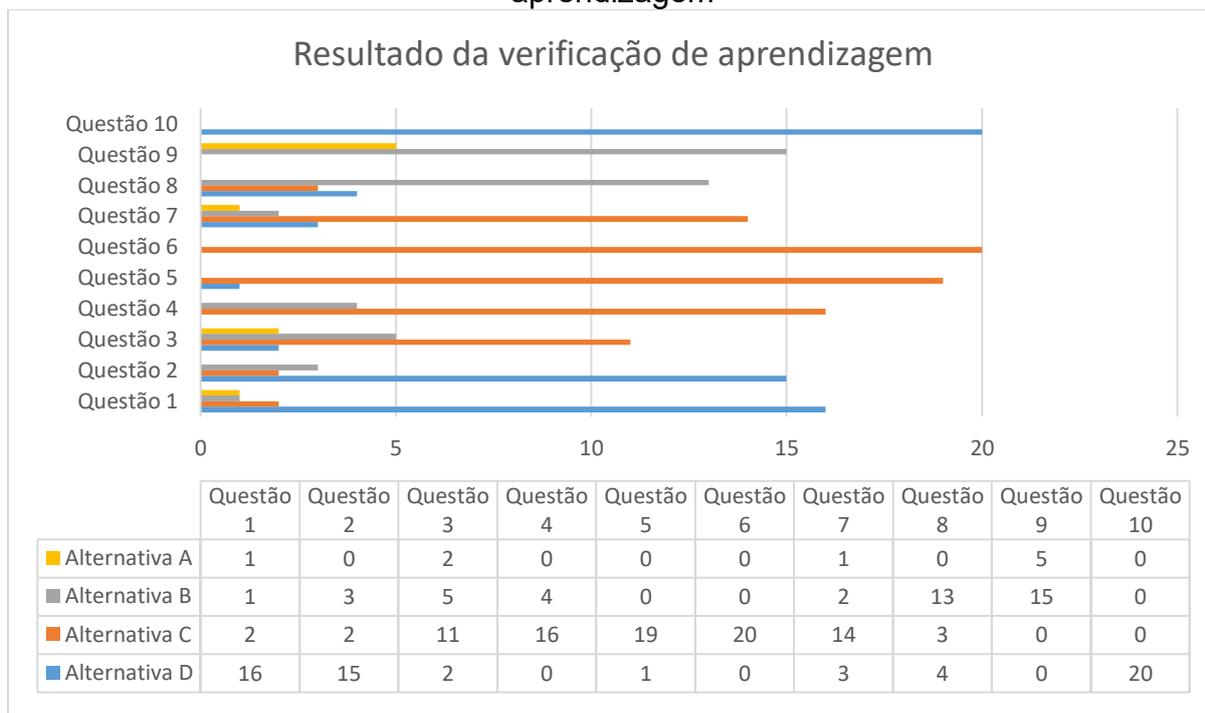
Questão 9. Quando as ondas sonoras chegam ao nosso ouvido, como elas são transformadas em sinais elétricos?

- a) Através da pressão acústica
- b) Pelo movimento dos ossículos no ouvido médio
- c) Pela vibração das células ciliadas na cóclea (Resposta esperada)
- d) Todas as anteriores

Questão 10. O que é uma ecolocalização usada por alguns animais, como morcegos e golfinhos?

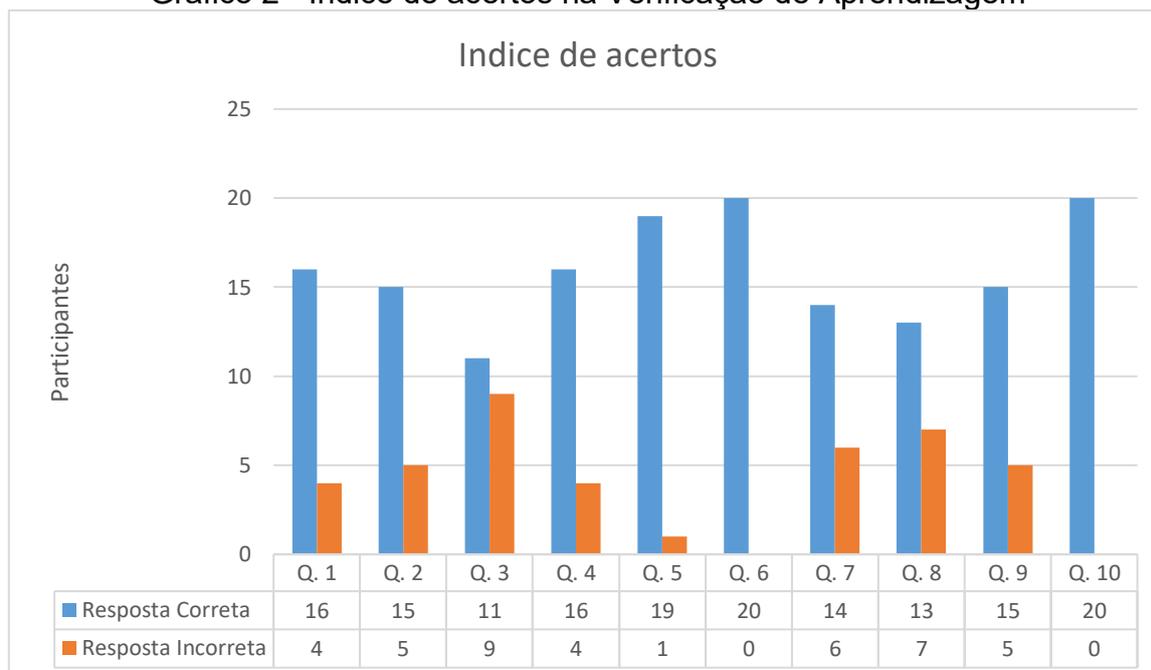
- a) Emissão de sons para navegação e localização de presas (Resposta esperada)
- b) Uso de sinais elétricos para encontrar comida
- c) Uso de padrões de luz para se orientar
- d) Uso de ondas de calor para detectar obstáculos

Gráfico 1 - Panorama Geral das respostas assinaladas na verificação de aprendizagem



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Gráfico 2 - Índice de acertos na Verificação de Aprendizagem



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Conforme o panorama das respostas apresentadas nos gráficos acima, analisa-se que:

a) Sucesso na Compreensão: A maioria dos alunos demonstraram uma compreensão sólida dos conceitos-chave. Por exemplo, na questão 6 sobre o uso de ultrassom pelos morcegos e na questão 10 sobre a ecolocalização, todos os estudantes escolheram a resposta correta. Isso indica que o tema foi efetivamente transmitido e compreendido;

b) Áreas de Confusão: Algumas questões, como a questão 3 sobre a qualidade do som, mostraram uma distribuição variada de respostas, sugerindo que alguns conceitos podem ter sido menos claros ou mal interpretados por alguns alunos. Da mesma forma, a questão 9, que abordava a transformação de ondas sonoras em sinais elétricos, também teve uma dispersão de respostas, indicando áreas que podem necessitar de revisão ou de uma abordagem diferente no ensino;

c) Erros Comuns: Algumas opções de resposta erradas foram escolhidas repetidamente por vários alunos, como visto nas questões 2 e 7. Isso pode indicar equívocos comuns ou conceitos preexistentes que precisam ser revisados e corrigidos;

d) Conexão com Aplicações Práticas: Questões como a 5, sobre o uso de ultrassons na Medicina, sugerem que os alunos estão aptos a relacionar conceitos teóricos com suas aplicações práticas no mundo real. Isso é um dado relevante para a internalização e aplicação do conhecimento adquirido;

e) Indicadores de Métodos de Ensino: Enquanto questões com alto índice de acertos podem refletir tópicos bem ensinados, as questões com respostas dispersas podem indicar a necessidade de visitar a metodologia ou os recursos didáticos utilizados para esses temas.

O processo de verificação de aprendizagem proporcionou um panorama sobre o progresso dos alunos ao final do percurso da aplicação da sequência didática. Ao analisar as respostas, é possível avaliar não apenas o nível de assimilação dos conteúdos, mas também identificar a eficácia das metodologias aplicadas e discernir sobre necessidade de revisar alguns pontos do material da sequência didática.

Ao relacionar esses resultados com a teoria sociointeracionista, torna-se evidente que os dados corroboram integralmente as premissas previstas, reforçando a validade das conclusões. Levando em conta a realização do pré-teste em comparação com a avaliação final, pode-se argumentar que o aprendizado dos alunos foi moldado e influenciado pelas interações com o grupo e com o educador durante a sequência didática, demonstrando que as discussões em classe, os debates e a

colaboração entre os alunos podem ter contribuído para a consolidação dos conceitos para a maioria dos alunos. No entanto, para aqueles que ainda mostram incertezas, a interação social pode ser a chave para aprofundar sua compreensão.

Considerando a teoria da aprendizagem significativa, é crucial conectar os novos conhecimentos com os conceitos já conhecidos pelos alunos. As respostas indicam que, para muitos, a informação foi assimilada de forma significativa. Contudo, para garantir que todos os alunos alcancem esse nível de compreensão, pode ser útil identificar os "subsunçores" – estruturas cognitivas preexistentes – dos alunos e adaptar a sequência didática para criar ligações mais fortes e relevantes entre o novo e o já conhecido, como exemplo do já conhecido a pesca com auxílio do boto, bastante praticado na região Lagunar - SC.

Em conclusão, a verificação de aprendizagem demonstrou que, em grande parte, a sequência didática foi bem-sucedida em transmitir os conceitos chave sobre acústica e sons inaudíveis. No entanto, sempre há espaço para melhorias e refinamentos, e as teorias educacionais oferecem diretrizes valiosas sobre como abordar as áreas que precisam de maior atenção. Ao reconhecer as áreas de incerteza e aplicar abordagens pedagógicas alinhadas com as teorias sociointeracionista e da aprendizagem significativa, é possível garantir que todos os alunos alcancem um alto nível de compreensão e aplicação dos conceitos.

5.6.4 Análise da discussão final da proposta

Esse momento, foi reservado especificamente para diálogo e compartilhamento, permitindo que os alunos refletissem sobre todo o processo vivenciado e compartilhassem suas experiências, descobertas e observações. A discussão foi pautada pelos alunos, que revelaram o impacto e o envolvimento deles ao longo da sequência didática. Eles trouxeram à tona observações perspicazes, como o fato do som mesmo quando não ser percebido pela audição humana, outras espécies percebem, porém em frequências diferentes, como é o caso dos caninos em dias de tempestades, demonstrando uma compreensão aprofundada dos conteúdos trabalhados e de como esses conteúdos se entrelaçaram com suas vivências pessoais.

Um ponto de destaque, repetidamente mencionado pelos estudantes, foi o caráter inovador da proposta. Muitos afirmaram que essa sequência didática foi

diferente de tudo que já haviam participado até aquele momento em sua trajetória educacional. Essa singularidade é interpretada não apenas em termos de conteúdo, mas principalmente na metodologia aplicada, que proporcionou aos alunos uma participação ativa durante o desenvolvimento da sequência didática.

O compartilhamento das experiências não se limitou apenas ao que foi aprendido em termos de conhecimento teórico ou prático. Verificou-se que os estudantes ressaltavam um crescente interesse pela pesquisa científica. Sob essa perspectiva, nota-se que a sequência didática estimulou igualmente a curiosidade, incentivando os alunos a se aprofundarem em questionamentos e pesquisas científicas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por metodologias inovadoras no ensino de Física torna-se cada vez mais necessária diante da crescente necessidade de preparar os alunos para compreenderem e interagirem com um mundo em constante evolução tecnológica e científica. Dessa forma, a proposta deste estudo, centrado no desenvolvimento e aplicação de uma sequência didática para o ensino de Acústica, é de extrema relevância.

No início deste trabalho, a questão central girava em torno de como tornar o ensino de Acústica mais significativo e envolvente, com especial ênfase nos infrassons e ultrassons. A hipótese levantada apontava que a integração de atividades teóricas e práticas, articuladas com experimentos e simulações, poderia oferecer uma aprendizagem mais contextualizada e significativa sobre os fenômenos acústicos. Os objetivos traçados buscavam, assim, proporcionar ao professor uma ferramenta didática que oferecesse tal perspectiva aos alunos.

Ao longo dos capítulos, pode-se observar o cuidado em alinhar a sequência didática com as demandas da atual Base Nacional Comum Curricular e em promover a interdisciplinaridade, conectando o estudo dos sons inaudíveis ao sistema auditivo humano. Deste modo, a Sequência Didática não apenas se propôs a aprofundar o conhecimento em Física, mas também instigar a curiosidade e a compreensão em áreas correlatas, como a Biologia.

Baseada nas teorias Sociointeracionista de Vygotsky e da Aprendizagem Significativa de Ausubel, a formulação da Sequência Didática foi guiada por esse referencial teórico, valorizando a colaboração e a ligação com os saberes já existentes dos alunos. Os resultados demonstraram a efetividade dessas abordagens, com alunos demonstrando maior interesse, participação e compreensão dos conceitos abordados.

Em suma, este trabalho oferece uma significativa contribuição ao ensino de Física, apresentando uma metodologia inovadora que integra teoria e prática de forma harmônica e interdisciplinar. A sequência didática mostrou-se não apenas uma alternativa pedagógica útil para a compreensão dos conceitos acústicos, mas também uma ponte para a exploração e apreciação da ciência em sua magnitude. A

abordagem adotada possui grande valor pedagógico, servindo como alternativa para educadores que buscam inovação em suas práticas docentes.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Ramón Vieira. **Implementação de metodologias ativas**: aprendizagem baseada em projetos em aulas de física sobre acústica no ensino médio à luz dos campos conceituais. 2019. 108 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/197452> Acesso em: 02 out. 2023

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BATISTA, João Lucas de Paula. **Uma proposta de ensino de acústica a partir da análise dos timbres de instrumentos musicais do samba**. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2016.612> Acesso em: 02 out. 2023

BBC NEWS BRASIL. **'Síndrome de Havana'**: as misteriosas micro-ondas que podem ter adoecido diplomatas americanos em Cuba. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-55206490>. Acesso em: 01 out. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm Acesso em: 20 out. 2023

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

BRASIL. **Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017**. Altera as Leis nos 9.394, de 20 de dezembro de 1996 [...]. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 fev. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/Lei/L13415.htm. Acesso em: 25 out. 2023

CANTO, Caroline Machado. **Instrumentos musicais**: contextualizando o ensino de acústica. 2022. 247f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física). Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234710> Acesso em: 02 out. 2023

CARMO, Rodrigo Salvadori Baptista do. **Ambiente virtual de aprendizagem em ondas e acústica para auxiliar o processo ensino e aprendizagem da física no ensino médio**. 2013. 187 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4439?show=full> Acesso em: 15 out. 2023

CASTRO, J. W. P. de. **Inclusão no ensino de física: o ensino das qualidades fisiológicas do som para alunos surdos e ouvintes**. 2015. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/10577> Acesso em 15 out. 2023

Cavitação Acústica: Disponível em: <https://www.hielscher.com/pt/acoustic-vs-hydrodynamic-cavitation-for-mixing-applications.htm> Acesso em 08/12/2023.

CHIERECCI, Ricardo. **O som da física** - a presença essencial da música no aprendizado da acústica. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: doi:10.11 606/D.81.2013.tde-13042015-152703. Acesso em: 15 out. 2023

COSTA, Maxmyller Rezende. **Avaliação e ensino de ondulatória, acústica e movimento harmônico simples usando contexto musical e jogo de tabuleiro**. 2018. 88f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física em Rede Nacional) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/26911> Acesso em: 16 out. 2023

COSTA JUNIOR, Jose de Oliveira. **Paisagens sonoras, música e indústria cultural: uma proposta educacional para o ensino médio**. 2019. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4629> Acesso em: 16 out. 2023

DECIAN, Emanoela. **O estudo da acústica a partir de unidades de ensino potencialmente significativas**: contribuições para uma aprendizagem significativa. 2020. 213f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Ensino de Física). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/22484> Acesso em: 16 out. 2023

DIMATTEO, A. **Experiencing the Unseen**: Tangible Impacts of Infrasound and Ultrasound. 2022. Disponível em: <https://hii-mag.com/article/experiencing-the-unseen-tangible-impacts-of-infrasound-and-ultrasound>. Acesso em: 02 out. 2023

DOOLAN, Con. The real science on wind farms, noise, infrasound and health. **The Conversation**, jun, 2015. Disponível em: <https://theconversation.com/the-real-science-on-wind-farms-noise-infrasound-and-health-43112>. Acesso em: 02 out. 2023

DURÁN, J. E. R. **Biofísica**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

FLORA FILHO, Fernando. **Síntese de som**: uma proposta de ensino para funções periódicas. 2022. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) –

Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15896>. Acesso em: 16 out. 2023

FREITAS, Paulo Henrique. **Tubo de diretividade sonora (TDS)**: confecção de um modelo experimental para o estudo da acústica. 2019. 74f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física). Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/214840?show=full>. Acesso em: 17 out. 2023

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, vol 2, 2014

HEALTH PROTECTION AGENCY. **Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasonic**: Report of the independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. Radiation, Chemical and Environmental Hazards, fev. 2010. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7dfba8ed915d74e33ef48e/RCE-14_for_web_with_security.pdf. Acesso em: 06 jun. 2023

HERMAN, I. P. **Physics of the Human Body**. Berlin: Springer, 2007.

LERIAS, Washington Roberto. **A física da música e a pluralidade didática**. 2016. 54 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

LIMA, J. J. P. de. **Ouvido, Ondas e Vibrações**: aspectos físicos e biofísicos. Portugal: ed; imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

LIMA, Juliana Skaraboto. **Uma proposta de sequência didática para o estudo da acústica no ensino médio**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2021.

MACIEL NETO, Airton dos Santos. **Sequência didática para a aprendizagem significativa da acústica física e da acústica musical, relativas aos tubos sonoros, utilizando organizadores prévios e atividades experimentais com o tubo de Kundt**. 2019. 84 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF)) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MARTINS, Fernando Alves. **Desenvolvendo um software com animações computacionais para o ensino de fenômenos ondulatórios**. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7706>. Acesso em: 17 out. 2023

MATTAR, J.; RAMOS, D. K. **Metodologia da pesquisa em educação**: Abordagens Qualitativas, Quantitativas e Mistas. Portugal: Grupo Almedina, 2021.

MAZETI, Lucas Jesus Bettiol. **Sequência didática**: uma alternativa para o ensino de acústica para o ensino médio. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/8963>. Acesso em: 16 out. 2023

MORAIS, D. *et al.* Ondas Ultrassônicas: teoria e aplicações industriais em ensaios não-destrutivos. **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**. Ponta Grossa, v. 4, n.1, p. 16-33, mai./ jun. 2017.

MORAES, Vinícius de Oliveira. **Unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas por meio da análise experimental da kalimba**. 2022. 78 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF)) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2022. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8670> Acesso em: 17 out. 2023

MOREIRA, M. A. **Teoria de aprendizagem**. São Paulo: E.P.U., 1999.

MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem significativa e sua implementação em Sala de Aula**. Brasília: Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente. **Meaningful Learning Review**, v.1, n, 3, p. 25-46, 2011. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID16/v1_n3_a2011.pdf Acesso em: 25 out. 2023

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNF/CxFhqLy/abstract/?lang=pt&format=html> Acesso em: 22 out. 2023

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.F.S. **A teoria da aprendizagem significativa: uma visão crítica**. *Revista Ciência & Educação*, 22(3), 613-624. 2016

NUNES, Raimundo Hélios Jiló. **Construção e aplicabilidade do tubo de Kundt para o estudo da acústica**. Proposta embasada na teoria sócio interacionista de Vygotsky e suas relações com a prática da experimentação com materiais de baixo custo. 2019. 77f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Mossoró-RN: UFERSA, 2019. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFER_c783a62e21dd62366cf506d4cf293298. Acesso em: 17 out. 2023

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica** – vol.2/. 4ª ed. rev. – São Paulo: Blucher, 2002.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil. 1982.

OLIVEIRA, M. K. d. **Vygotsky aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico**. São Paulo: Scipione, 1995.

OSTASHEV, V. E., WILSON, D. K., LIU, L., ALDRIDGE, D. F., SYMONS, N. P., and MARLIN, D., 2005. Equations for finite-difference, time-domain simulation of sound propagation in moving inhomogeneous media and numerical implementation. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 117(2), pp. 503–517. doi: 10.1121/1.1841531.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1121/1.1841531>>. Acesso em: 20 out. 2023

PARSONS, Steven T. Infrasound and the paranormal. **Journal of the Society for Psychical Research**, v. 76.3, n. 908, p. 150, jul. 2012.

PEREIRA, Rodrigo Machado. **Abordagem ativa da acústica no ensino médio com a confecção de artefatos musicais pelos alunos**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/SCAR_57bfef0c7078a5b88296881c48f11944/Description#tabnav Acesso em: 17 out. 2023

PYE, J.D.; LANGBAUER, W.R. Ultrasound and Infrasound. *In*: HOPP, S.L., OWREN, M.J., EVANS, C.S. (eds) **Animal Acoustic Communication**. Springer: Berlin, 1988

REIN, Elano Gustavo. **UEPS para acústica: uma nova melodia de ensino**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3842> Acesso em: 18 out. 2023

RIZZO, Adrian Luiz. **Aprendizagem baseada em projetos no ensino de física: uma proposta de website como recurso potencialmente significativo no estudo de acústica**. 2022. 167f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/255060> Acesso em: 18 out. 2023

Rodrigues, Ernani Vassoler. **Atividades para o aprendizado de acústica**. 2016. 179 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas. Espírito Santo, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/7534> Acesso em: 17 out. 2023

SANTA CATARINA. Secretária do Estado de Educação. **Novo Ensino Médio: Programa Itinerários Formativos**. Florianópolis: 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mec/pt-br/novo-ensino-medio/pdfs/PAIFSC.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2023

SANTOS, José Rafael dos. **Aprendizagem ativa: uma proposta para o ensino de luz e som**. 2016 a. 89 f. Dissertação (Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2016. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/6410> Acesso em: 22 out. 2023

SANTOS, Laelton Lima dos. **O uso de recursos da plataforma moodle no ensino de ondulatória e acústica a turmas da segunda série do ensino médio**. 2016. 59 f., il. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física)-Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB_a535584985bed5c87a0e0468229cfebe Acesso em: 22 out. 2023

SILVA, Douglas Krüger da. **A física e os instrumentos musicais construindo significados em uma aula de acústica**. 2017. 147 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/174341> Acesso em: 22 out. 2023

SILVA, Silvio Oliveira Costa. **Construção de um tubo de Kundt controlado por Arduino para o ensino de ondas estacionárias**. 2022. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/17992> Acesso em: 22 out. 2023

SILVA, Wiverson Moura. **A acústica no ensino fundamental: uma abordagem investigativa utilizando instrumentos musicais**. 2020. 112f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/861571c5-736d-4258-8efb-29352fd5ed78/full> Acesso em: 22 out. 2023

STINGLIN, Douglas da Costa. **Relações entre a percepção musical e o ensino das características das ondas sonoras**. 2017. 66 f. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UTFPR-12_1cc5e2196094c89a1ce5a4723fefa33d Acesso em: 22 out. 2023

SOUZA, Helcio Mezzetti de. **O ultrassom para o Ensino Médio através da teoria da aprendizagem significativa**. 2017. 132 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do ABC, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, 2016. Disponível em: http://biblioteca.ufabc.edu.br/index.php?codigo_sophia=107312. Acesso em: 16 out. 2023.

SILVA, José Alex Viana da. **Banda sustentável**: confecção de instrumentos musicais no ensino da acústica. 2018. xv, 108 f., il. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

VASCONCELOS, C. M. L. de.; GARCIA, E. A. C. **Biofísica para Biólogos**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2009.

VOSGERAU, D. S. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 14, n. 41, 2014. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/dialogoeducacional/article/view/2317>. Acesso em: 22 jan. 2023.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Trad. Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

YOUNG, H; FREEDMAN, R. **Física II**: Termodinâmica e Ondas. 14a ed. São Paulo, Pearson Education do Brasil Ltda., 2015.

APÊNDICES – PRODUTO EDUCACIONAL



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO ARARANGUÁ

Michelle Belmiro Ilibio Comin

PRODUTO EDUCACIONAL

**SONS QUE NÃO OUVIMOS: SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE
ACÚSTICA**

Araranguá
2023

Michelle Belmiro Ilibio Comin

SONS QUE NÃO OUVIMOS: Sequência Didática para o Ensino de Acústica

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Sons que não Ouvimos: Sequência Didática para o Ensino de Acústica, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 41 – UFSC / Araranguá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Mauricio Girardi

Araranguá

2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao professor Dr. Mauricio Girardi por ter sido um orientador exemplar, desempenhando sua função com excelência e compreensão.

Aos meus amigos, minha eterna gratidão por estarem sempre ao meu lado, oferecendo uma amizade incondicional e demonstrando apoio ao longo de todo o período dedicado ao desenvolvimento deste produto.

Gostaria também de agradecer às pessoas com quem convivi durante esses anos de curso, pois elas me incentivaram e certamente tiveram um impacto significativo na minha formação acadêmica.

Não posso deixar de mencionar minha gratidão à Universidade Federal de Santa Catarina e à Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade de formação que me proporcionaram.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, e do Governo do Estado de Santa Catarina, bolsa de mestrado, edital FUMDES/2019.

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	6
2. SEQUÊNCIA DIDÁTICA E SUA APLICAÇÃO	8
2.1 MOMENTO 1: INTRODUÇÃO À ACÚSTICA	8
2.2 MOMENTO 2: ONDAS SONORAS	10
2.3 MOMENTO 3: SONS INAUDÍVEIS – INFRASONS E ULTRASSONS.....	12
2.4 MOMENTO 4: BIOACÚSTICA: OS MISTÉRIOS DO SOM NO SISTEMA AUDITIVO	14
2.5 MOMENTO 5: VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM.....	16
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
REFERÊNCIAS.....	19
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO FINAL	22
APÊNDICE B – TEXTO DE APOIO: ACÚSTICA.....	27
REFERÊNCIAS.....	38
APÊNDICE C – MATERIAL DE APOIO: ONDAS SONORAS	39
APÊNDICE D – MAPA CONCEITUAL – ONDAS SONORAS	44
APÊNDICE E – ROTEIRO: ONDAS SONORAS X ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	46
APÊNDICE F – EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO: ONDAS SONORAS.....	51
APÊNDICE G – TEXTO DE APOIO: PROPAGAÇÃO DO SOM	54
APÊNDICE H – GUIA EXPERIMENTAL: PROPAGAÇÃO DO SOM	62
APÊNDICE L – TEXTO DE APOIO: SONS INAUDÍVEIS – INFRASONS E ULTRASSONS.....	73
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE J – TESTE DE FREQUÊNCIA: EXPLORANDO O ESPECTRO AUDITIVO HUMANO	86
APÊNDICE K – ROTEIRO EXPERIMENTAL: EXPLORANDO OS INFRASONS E ULTRASSONS.....	89
APÊNDICE L – TEXTO DE APOIO: ANATOMIA E FISIOLOGIA DO SISTEMA AUDITIVO.....	94
APÊNDICE M – ROTEIRO PARA O USO DE SOFTWARE: O APARELHO AUDITIVO 3D.....	101
APÊNDICE N – VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM: GOOGLE FORMS	106

ANEXO A - GUIA DE CONSTRUÇÃO DO TUBO SONORO	110
ANEXO B - GUIA DE CONSTRUÇÃO DO DETECTOR DE ULTRASSONS.....	120
ANEXO C – ARTIGO: UM EXPERIMENTO DE BAIXO CUSTO COM ARDUINO PARA O ESTUDO DE ONDAS SONORAS.....	125

1. APRESENTAÇÃO

Caro(a) professor(a):

O texto a seguir lhe apresentará uma sequência didática elaborada pela autora sob orientação do Prof. Dr. Mauricio Girardi, produzida no âmbito do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus Araranguá. Este produto trata-se de uma série ordenada e articulada de atividades teóricas e práticas colocadas à disposição do professor de Física que poderá adotá-la como estratégia educacional para trabalhar o conteúdo de Acústica com alunos do ensino médio.

A sequência didática proposta, ao se aprofundar no estudo de sons inaudíveis, não apenas se alinha com os objetivos e metas pedagógicas tradicionais, mas também se harmoniza com as diretrizes da nova BNCC (Base Nacional Comum Curricular). Ao explorar a natureza e as características dos sons que não são percebidos pelo ouvido humano, a sequência proporciona aos alunos investigarem o funcionamento do sistema auditivo. A BNCC enfatiza a importância da interdisciplinaridade, e integrando o estudo dos sons inaudíveis com o sistema auditivo, a sequência oferece uma abordagem educacional enriquecedora. Esta abordagem não só amplia a compreensão dos alunos sobre os fenômenos acústicos, mas também os introduz à biologia e fisiologia do ouvido, preparando-os para uma compreensão mais ampla das ciências da natureza.

Por Acústica entende-se o ramo da Física que estuda o som, incluindo sua geração, transmissão e efeitos, as ondas sonoras e suas propriedades. O termo som pode ser usado para se referir a qualquer tipo de onda mecânica e longitudinal que se propaga em um meio material, independentemente da sua frequência ou da sua percepção auditiva. Os infrassons e os ultrassons são exemplos de sons que não são audíveis pelos seres humanos, mas que podem ser detectados por outros animais ou por aparelhos especiais. Esses sons têm diversas aplicações na natureza e na tecnologia.

O ensino de Física pode ser mais interessante e eficaz se for baseado em métodos didáticos que estimulem a participação ativa dos alunos, a experimentação, a contextualização e a interdisciplinaridade. Quando se ensina acústica, é importante mostrar as aplicações práticas e cotidianas dos conceitos e fenômenos estudados, e usar uma linguagem adequada ao nível dos alunos, a fim de que estes possam desenvolver o raciocínio lógico, a criatividade e o interesse pela ciência.

Considerando o exposto acima, esta sequência didática tem como propósito proporcionar uma aprendizagem significativa, contextualizada e inclusiva dos conceitos e fenômenos relacionados a acústica, disponibilizando ao professor de Física, uma série de atividades experimentais intercaladas com apresentações teóricas do conteúdo, direcionada ao segundo ano do ensino médio, utilizando as ondas sonoras com frequências abaixo e acima do espectro audível humano, respectivamente, o infrassom e ultrassom, como prática de aplicação e integração de conhecimento.

Espera-se que, ao final desta sequência didática focada no estudo de sons inaudíveis e no sistema auditivo, os estudantes tenham adquirido os conhecimentos e habilidades essenciais para entender e explorar os conceitos e fenômenos da acústica e da biologia auditiva em situações do dia a dia. Isso permitirá o desenvolvimento de competências como o raciocínio lógico, a capacidade de investigação do funcionamento do ouvido humano, a criatividade e a curiosidade sobre os mistérios dos sons e sua percepção.

Esta sequência didática sobre Acústica é flexível e pode ser usada integralmente ou adaptada conforme as necessidades e os objetivos de cada professor e turma. Recomenda-se que ela seja aplicada de forma presencial, para que os alunos possam realizar os experimentos propostos e interagir com os colegas e o professor. Além disso, esta sequência didática contempla também a inclusão de estudantes surdos, possibilitando a participação destes nos experimentos práticos e interativos, respeitando a diversidade e a acessibilidade de todos. O produto inclui guias detalhados para a construção e aplicação dos experimentos, tornando mais fácil a implementação das atividades propostas

A sequência didática sobre Acústica está organizada em cinco momentos, cada um com um número estimado de aulas de 45 (quarenta e cinco) minutos. Os encontros são listados no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 – Organização da Sequência Didática em Acústica

Momento	Tema	Número de aulas
1º	Introdução à Acústica	2
2º	Ondas Sonoras	4
3º	Infrassons e Ultrassons	4
4º	Bioacústica: som e ouvido	2
5º	Consolidação e Avaliação	1

Fonte: elaborado pela autora (2023)

2. SEQUÊNCIA DIDÁTICA E SUA APLICAÇÃO

Este guia tem como objetivo fornecer orientações para a aplicação da sequência didática em sala de aula, permitindo ao professor planejar e organizar as atividades de ensino de forma estruturada e coerente. Ao seguir as etapas propostas neste guia, o professor poderá conduzir o processo de ensino-aprendizagem de forma eficaz e proporcionando aos alunos uma experiência educacional enriquecedora.

2.1 MOMENTO 1: INTRODUÇÃO À ACÚSTICA

Duração:

2 aulas de 45 minutos.

Objetivos:

- a) Diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos relacionados a Acústica.
- b) Apresentar a proposta metodológica da Sequência Didática.
- c) Introduzir os conceitos básicos pertinentes à Acústica.
- d) Fomentar o interesse, a curiosidade e a participação dos alunos.

Conteúdo Programático:

Conceitos básicos da Acústica: som, frequência, amplitude, intensidade, velocidade do som, reflexão do som, reverberação, difração, eco, absorção do som.

Recursos/Materiais necessários:

- a) Notebook/computador e projetor multimídia.
- b) Reproduções impressas do Apêndice A, que consiste em um questionário diagnóstico, destinado ao aluno.
- c) Reproduções impressas do Apêndice B, que é um material textual sobre Acústica, destinado ao discente.

Dinâmica das atividades:

1. De forma a verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema da Acústica e identificar suas concepções iniciais, distribua e peça aos alunos para responderem individualmente ao questionário inicial (Apêndice A). Estabeleça um tempo limite, entre 15 e 20 minutos, para que os alunos registrem suas respostas e recolha os questionários, para avaliar o nível de conhecimento prévio dos alunos sobre Acústica. A partir da análise das respostas entregues, pode-se adaptar/reforçar alguns conteúdos a serem trabalhados durante o desenvolvimento da sequência didática de acordo com as necessidades dos alunos.

2. Após a conclusão da atividade anterior, faça uma breve introdução sobre o tema da Acústica e sua importância em nosso dia a dia. Para engajar os alunos, disponibilize uma cópia impressa do Apêndice B. Esse texto foi preparado com o propósito de estimular a curiosidade dos estudantes. Incentive a participação ativa dos alunos, para que estes compartilhem reflexões e impressões após a exposição do conteúdo (Apêndice B).

3. Reserve os últimos 10 minutos de aula e apresente brevemente a proposta de sequência didática aos alunos, explicando o objetivo da atividade. Aproveite este momento para despertar o interesse dos alunos, informando que

as atividades contemplam experimentos práticos, uso de smartphones, aplicativos etc.

2.2 MOMENTO 2: ONDAS SONORAS

Duração:

4 aulas de 45 minutos.

Objetivos:

- a) Compreender as características e propriedades das ondas sonoras.
- b) Relacionar as ondas sonoras com outros fenômenos ondulatórios.
- c) Reconhecer a importância do som em nosso dia a dia.
- d) Desenvolver habilidades de pesquisa, experimentação e análise de dados.

Conteúdo Programático:

- a) Conceitos fundamentais aplicados as ondas sonoras
- b) Características e propriedades das ondas sonoras.
- c) Características do som
- d) Parâmetros como comprimento de onda e frequência.
- e) Conceito de velocidade relativa.
- f) Correlação entre temperatura e velocidade de propagação do som.

Recursos/Materiais necessários:

- a) Lousa ou Quadro branco.
- b) Projetor multimídia.
- c) Computador com conectividade à internet.
- d) Cópias impressas do mapa conceitual para todos os estudantes (Apêndice D).

- e) Equipamento para experimentação nas aulas 3 e 4 (guia de construção e material necessário disponível no Anexo A).
- f) Smartphone ou tablets com aplicativos instalados (link disponível no Apêndice H)

Dinâmica das atividades:

Aula 1:

1. Inicie a aula projetando os slides (Apêndice C) e distribua o mapa conceitual (Apêndice D) para cada estudante. Esta primeira aula é destinada a trabalhar o conteúdo de forma expositiva dialogada, para tanto, utilize o mapa conceitual como base para a exposição do conteúdo, conectando os conceitos do mapa com as informações dos slides. Durante a exposição, fazer referências constantes ao mapa, incentivando os alunos a utilizarem o material como uma ferramenta de apoio à aprendizagem, permitindo e incentivando os alunos a fazerem perguntas e participarem ativamente da aula.

Conclua a aula reforçando a importância do mapa conceitual como uma ferramenta de organização e consolidação do conhecimento, incentivando os alunos a revisarem e atualizarem o mapa conforme avançam no estudo do tema.

Aula 2:

1. Relembre rapidamente os conceitos básicos das ondas sonoras e de outros tipos de ondas (por exemplo, ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas). Explique a relação entre a luz e o som como ondas eletromagnéticas e ondas sonoras, respectivamente.

2. Após a breve exposição, siga o roteiro disponível no Apêndice E. Trata-se de uma atividade demonstrativa para demonstrar comparativamente as velocidades da luz e do som, por meio do simulador online *Physics Animations/Simulations* - (acesso pelo site <http://bascak.cz>).

3. Na sequência, com intuito de avaliar o progresso dos alunos, aplique a lista de exercícios de fixação (Apêndice F).

Aula 3 e 4:

1. Inicie a aula recapitulando os conceitos básicos sobre propagação de ondas sonoras e suas características. Aborde o tema da velocidade relativa das ondas sonoras, especialmente quando o ar está em movimento. Utilize como base o texto de apoio no Apêndice G para enriquecer a discussão e esclarecer dúvidas.

2. Após a exposição, siga o roteiro disponível no Apêndice H. Trata-se de uma atividade demonstrativa com experimentos envolvendo a dependência da velocidade do som com a temperatura e o problema do movimento relativo quando o som se propaga no ar em movimento.

Obs.: Recomenda-se que as Aulas 3 e 4 sejam consecutivas para permitir uma abordagem contínua e aprofundada do tema.

2.3 MOMENTO 3: SONS INAUDÍVEIS – INFRASSONS E ULTRASSONS**Duração:**

4 aulas de 45 minutos.

Objetivos:

- a) Entender os conceitos de infrassons e ultrassons.
- b) Investigar as características e propriedades desses sons.
- c) Verificar as aplicações práticas dos infrassons e ultrassons em diferentes áreas da ciência e tecnologia.
- d) Fortalecer habilidades de pesquisa, experimentação e interpretação de dados.

Conteúdo Programático:

- a) Sons Inaudíveis: o que são e por que não escutamos?
- b) Fundamentos e características dos Infrassons e Ultrassons.
- c) Aplicações práticas dos Infrassons e Ultrassons.

Recursos/Materiais necessários:

- a) Dispositivo descrito no anexo B (detector de ultrassom)
- b) Computador com aplicativo instalado (link disponível do Apêndice K)
- c) Acesso à internet para pesquisa e apresentações de vídeos
- d) Papel, lápis e borracha, para registro de observações.
- e) Notebook/computador/projetor multimídia para apresentações/exibição de dados.
- f) Fones de ouvido.

Dinâmica das atividades:**Aula 1:**

1. Inicie este momento com perguntas que conectem a experiência dos alunos: "Você já sentiu uma vibração, mas não ouviu o som?" ou "Você sabe como os golfinhos se comunicam?"

2. Apresente a videoaula (3m32s) sobre os sons inaudíveis, disponível no link: < <https://www.youtube.com/watch?v=ZOEMVdfIZIE>>

3. Em seguida, conduza discussão guiada baseada no texto do Apêndice I, incentivando os alunos a relacionarem o conteúdo com suas experiências pessoais.

Aula 2:

1. Conduza o teste experimental individual: Teste de Frequência: explorando o espectro auditivo humano, seguindo o roteiro no Apêndice J.

Obs: Nesta etapa, cada aluno fará seu próprio teste auditivo e, em seguida, poderá comparar resultados e discutir curiosidades sobre o tema.

Aula 3:

1. Conduza um teste experimental utilizando o software de infrassons e o detector ultrassons, conforme descrito no roteiro do Apêndice K.

Aula 4:

1. Inicie a aula com uma breve recapitulação dos conceitos-chave relacionados a infrassons e ultrassons.

2. Divida a turma em grupos pequenos e atribua a cada grupo um tópico específico relacionado a infrassons ou ultrassons para discutir. Eles podem explorar aplicações práticas, curiosidades científicas ou implicações no cotidiano. Incentive-os a desenvolver ideias e argumentos sólidos.

Obs.: Sugestões de Tópicos para Discussão em Grupo: a) Aplicações de infrassons em terremotos e vulcões; b) Utilização de ultrassons na medicina, como ultrassonografia; c) Como os golfinhos usam ultrassons na comunicação. d) Infrassons e seu impacto na vida selvagem (elefantes); e) Ultrassons em tecnologias de limpeza (lavadoras ultrassônicas).

3. Reserve os 30 minutos finais da aula para que cada grupo faça uma apresentação curta sobre seu tópico, compartilhando informações relevantes e conclusões. Abra espaço para perguntas e debates após cada apresentação, permitindo que os outros grupos façam questionamentos e expressem opiniões.

2.4 MOMENTO 4: BIOACÚSTICA: OS MISTÉRIOS DO SOM NO SISTEMA AUDITIVO

Duração:

2 aulas de 45 minutos.

Objetivos:

a) Introduzir os conceitos fundamentais da Biofísica e sua relevância no estudo do sistema auditivo.

b) Investigar a anatomia do ouvido humano, compreendendo a função de cada uma de suas partes.

d) Desvendar o processo pelo qual as vibrações se convertem em sons reconhecíveis pelo nosso cérebro.

e) Valorizar a diversidade auditiva, promovendo a inclusão dos alunos surdos e incentivando a turma a compreender e respeitar diferentes formas de percepção sonora.

Conteúdo Programático:

a) Anatomia do Ouvido: Descobrimos suas partes e estruturas.

b) O Processo da Audição: Entendendo a fisiologia auditiva.

c) De Vibrações a Sons: Como o som é convertido e interpretado.

Recursos/Materiais necessários:

a) Texto de apoio para consulta (ver Apêndice L).

b) Dispositivos móveis (*Smartphone* ou *tablet*) com sistema Android.

Dinâmica das atividades:

Aula 1:

1. Inicie a aula introduzindo o conceito interdisciplinar de Biologia e Física, focando na maneira como as ondas sonoras são percebidas pelos nossos ouvidos e interpretadas pelo cérebro.

2. Mostre o vídeo educativo, que pode ser acessado pelo link: <https://www.youtube.com/watch?v=FLUwYCHFVas>. Este vídeo irá complementar e aprofundar a compreensão dos alunos sobre o funcionamento auditivo.

3. Após o vídeo, conduza uma discussão aprofundada sobre a anatomia e fisiologia do sistema auditivo, utilizando como base o texto de apoio encontrado no Apêndice L.

Aula 2:

1. Nesta aula, a tecnologia será uma aliada no processo de aprendizado. Informe aos alunos sobre o software "O aparelho auditivo em 3D", que está disponível para download no link: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rendernet.hearing&hl=pt_BR&pli=1

2. Oriente os estudantes a instalarem o aplicativo em seus dispositivos móveis. Uma vez instalado, cada aluno deve explorar o software individualmente, mas seguindo as diretrizes e etapas apresentadas no roteiro do Apêndice M.

3. Após a exploração individual, promova um espaço para diálogo e compartilhamento. Aqui, os alunos podem discutir suas descobertas, observações e possíveis dúvidas que surgiram durante a atividade. Esse momento de troca e reflexão coletiva é crucial para solidificar o conhecimento e promover a interação entre os alunos, reforçando o conteúdo aprendido e incentivando a curiosidade.

2.5 MOMENTO 5: VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM

Duração:

1 aula de 45 minutos.

Objetivos:

- a) Consolidar a captação de significados e a compreensão dos conceitos.
- b) Utilizar a tecnologia para otimizar o processo avaliativo.

Metodologia:

Avaliação formativa, compreendida como processo contínuo que visa acompanhar o desenvolvimento do aluno ao longo do processo de ensino aprendizagem, identificando suas dificuldades e habilidades.

Recursos:

- a) *Google Forms* (Apêndice N)
- b) *Smartphone/Tablet/computador*

Dinâmica das atividades:

1. O docente deve enfatizar aos estudantes a relevância da avaliação proposta. Esta é elaborada na plataforma *Google Forms*, visando aproveitar os recursos tecnológicos e reduzir o uso de papel. É fundamental que os alunos realizem o teste de forma individual, sem recorrer a materiais de consulta ou pesquisas online. A meta é avaliar o nível de aprendizado após a implementação da sequência didática, estabelecendo uma conexão entre habilidades e competências complementares.

2. Para a execução da avaliação online, sugere-se que o educador utilize a sala de informática da escola, caso esteja à disposição. Alternativamente, pode-se empregar tablets com acesso à internet, desde que haja equipamentos suficientes para cada estudante fazer sua avaliação individualmente. Caso não seja possível, pode-se solicitar que os alunos utilizem seus smartphones pessoais no dia da avaliação.

3. Para iniciar a avaliação de aprendizado, os estudantes devem acessar o seguinte link:
[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfyocBfosGYeAnGJvhzqM9QbubzmaLLMufK8rVDrdK6flyRNA/viewform?usp=sf link.](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfyocBfosGYeAnGJvhzqM9QbubzmaLLMufK8rVDrdK6flyRNA/viewform?usp=sf_link)

4. Através do *Google Forms*, o professor tem a capacidade de monitorar o desempenho individual e coletivo dos estudantes em tempo real. Baseado nos resultados, ele poderá adotar estratégias pedagógicas para assegurar que todos estejam assimilando o conteúdo proposto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Chegamos ao final deste produto acadêmico, na qual apresentamos uma sequência didática elaborada com o propósito de enriquecer o ensino de Acústica no segundo ano do ensino médio. Este produto educacional foi desenvolvido com grande dedicação e embasado em princípios pedagógicos que visam estimular o aprendizado significativo, a contextualização, a interdisciplinaridade e a inclusão de todos os alunos.

O objetivo principal desta sequência didática foi proporcionar uma aprendizagem envolvente e contextualizada sobre os conceitos e fenômenos da acústica. Esperamos que, ao utilizar este material, você possa despertar o interesse de seus alunos pela Física e pela ciência de uma maneira geral. Acreditamos que a experiência de aprendizado que oferecemos aqui será rica em experimentação e participação ativa dos estudantes.

Este guia de aplicação da sequência didática tem como objetivo facilitar a sua jornada como professor e fornecer orientações claras para cada momento da aula. Lembre-se de que esta sequência é flexível e pode ser adaptada de acordo com as necessidades e objetivos da sua turma.

Além disso, é importante destacar que esta sequência didática foi elaborada com inclusão em mente. Ela contempla a participação de alunos surdos nos experimentos práticos, respeitando a diversidade e a acessibilidade de todos os estudantes.

Esperamos que você tenha encontrado neste material informações e orientações relevantes para enriquecer suas aulas de Física e inspirar seus alunos para explorar o fascinante mundo da Acústica e da Física.

REFERÊNCIAS

BBC NEWS BRASIL. **'Síndrome de Havana'**: as misteriosas micro-ondas que podem ter adoecido diplomatas americanos em Cuba. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-55206490>. Acesso em: 01 out. 2023.

BERG, R. E.; STORK, D. G. **The Physics of Sound**. Prentice-Hall, 1982.

DIMATTEO, A. **Experiencing the Unseen: Tangible Impacts of Infrasound and Ultrasound**. 2022. Disponível em: <https://hii-mag.com/article/experiencing-the-unseen-tangible-impacts-of-infrasound-and-ultrasound>.

DOOLAN, Con. **The real science on wind farms, noise, infrasound and health**. *The Conversation*, jun, 2015. Disponível em: <https://theconversation.com/the-real-science-on-wind-farms-noise-infrasound-and-health-43112>. Acesso em: 02 out. 2023

DURÁN, J. E. R. **Biofísica**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

GENG, Z., MAASILTA, I. J. **Tunelamento completo de ondas acústicas entre cristais piezoelétricos**. *Commun. Phys.* **6**, 178 (2023). <https://doi.org/10.1038/s42005-023-01293-y>

GONZÁLEZ DE CASTELLS, A. N.; LINON, F. S de A. **Educar, documentar e valorizar para preservar: pesca artesanal com auxílio dos botos em Laguna**. 1. ed. Laguna: Ed. do autor, 2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentals of Physics**. Wiley, 2018.

HERMAN, I. P. **Physics of the Human Body**. Berlin: Springer, 2007.

HEALTH PROTECTION AGENCY. **Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound**: Report of the independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. Radiation, Chemical and Environmental Hazards, fev. 2010. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7dfba8ed915d74e33ef48e/RC-E-14_for_web_with_security.pdf. Acesso em: 06 jun. 2023

KINSLER, L. E.; Frey, A. R.; Coppins, A. B.; Sanders, J. V. **Fundamentals of acoustics**. New York: John Wiley & Sons. 2000

KNIGHT, R. D.; JONES, B.; FIELD, S. **College Physics: A Strategic Approach**. Pearson, 2020.

LANGLEY, L. Veja como funciona a ecolocalização - o sonar inerente da natureza. **National Geographic Brasil**, 10 fev. 2021. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/animais/2021/02/veja-como-funciona-a-ecolocalizacao-o-sonar-inerente-da-natureza>. Acesso em: 03 out. 2023

LIMA, J. J. P. de. **Ouvido, Ondas e Vibrações, Aspecto Físicos e Biofísicos**. Portugal: ed; imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

MORAIS, D. *et al.* Ondas Ultrassônicas: teoria e aplicações industriais em ensaios não-destrutivos, **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 4, n.1, p. 16-33, mai./ jun. 2017.

NEWTON, V.B; HELAU, R.D; GUALTER, J.B. **Física: termologia, ondulatória, óptica**. v.2, 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. v. 2, 4^a ed. São Paulo: Blucher, 2002.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para Ciências biológicas e Biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil. 1982.

PARSONS, Steven T. Infrasound and the paranormal. **Journal of the Society for Psychical Research**, v. 76.3, n. 908, p. 150, jul. 2012.

PYE, J. D.; LANGBAUER, W. R. Ultrasound and Infrasound. In: Hopp, S.L., Owren, M.J., Evans, C.S. (eds) **Animal Acoustic Communication**. Springer: Berlin, 1988

RESENDE, M. d. S. **Análise dos assobios de *Tursiops truncatus gephyreus* em Laguna/SC**: em busca de assobios assinatura. 2022. 39 f. TCC. (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SERWAY, R. A.; JEWETT. JR. J. W. **Princípios de Física**. Trad. Sergio Roberto Lopes. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

VASCONCELOS, C. M. L. de.; GARCIA, E. A. C. **Biofísica para Biólogos**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2009.

WALKER, J. **Halliday/Resnick - Fundamentos de Física**: gravitação, ondas e termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II**: termodinâmica e ondas. 14 ed. Trad Daniel Vieira. São Paulo: Pearson Education, 2015.

APÊNCICE A – QUESTIONÁRIO FINAL

Aluno: _____
- Leia atentamente as afirmativas seguintes e com base no seu conhecimento responda individualmente:
1 – No contexto da Física, pode-se afirmar que uma onda sonora é um movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio material. a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas
2 – A frequência de uma onda sonora afeta a altura do som que ouvimos. a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas
3 – A unidade de medida da frequência é o Hertz (Hz), que corresponde a um ciclo por segundo. a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas
4 – O som é uma onda mecânica, portanto, necessitam de um meio material para se propagarem. a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas
5 – Uma onda percorre a distância de um comprimento de onda no intervalo de tempo igual a um período. Sendo que a relação entre o comprimento de onda, o período e a velocidade da onda são dados por uma equação. a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas

<p>6 – O período (T) de uma onda é o intervalo de tempo para que cada ponto do meio por onde a onda se propaga execute uma oscilação completa. No caso de uma onda sonora, o período é o tempo que leva para a onda completar um ciclo completo de oscilação.</p> <p>a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas</p>
<p>7 – O período de uma onda sonora é inversamente proporcional à frequência, ou seja, quanto maior a frequência, menor será o período da onda.</p> <p>a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas</p>
<p>8 – A amplitude de uma onda sonora está relacionada com a intensidade do som, que representa o volume do som.</p> <p>a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas</p>
<p>9 – O comprimento de onda é representado pela letra grega lambda (λ) e pode ser calculado usando a equação fundamental das ondas: velocidade = comprimento de onda / período.</p> <p>a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas</p>
<p>10 – A Acústica é a área da Física que também estuda as características do som.</p> <p>a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas</p>
<p>11 – O som é uma onda mecânica.</p> <p>a) Concordo b) Discordo c) Tenho dúvidas</p>

12 – Quando as ondas sonoras chegam ao nosso ouvido, elas são transformadas em sinal elétrico através da pressão acústica

- a) Concordo
- b) Discordo
- c) Tenho dúvidas

13 – Os seres humanos são capazes de ouvir uma faixa de frequências sonoras, chamada de espectro audível, que se estende entre 20 Hz e 20.000 Hz, aproximadamente.

- a) Concordo
- b) Discordo
- c) Tenho dúvidas

14 – Sons com frequências abaixo de 20 Hz são chamados de infrassons e sons com frequências acima de 20.000 Hz são chamados de ultrassons, esses sons não podem ser ouvidos pelo ouvido humano, mas podem ser percebidos por outros animais ou por meio de equipamentos especiais.

- a) Concordo
- b) Discordo
- c) Tenho dúvidas

Respostas esperadas com a aplicação do Questionário Inicial			
	Concordo	Discordo	Tenho Dúvidas
1. No contexto da Física, pode-se afirmar que uma onda sonora é um movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio material.	X		
2. A frequência de uma onda sonora afeta a altura do som que ouvimos.	X		
3. A unidade de medida da frequência é o Hertz (Hz), que corresponde a um ciclo por segundo.	X		
4. O som é uma onda mecânica, portanto, necessitam de um meio material para se propagarem.	X		
5. Uma onda percorre a distância de um comprimento de onda no intervalo de tempo igual a um período. Sendo que a relação entre o comprimento de onda, o período e a velocidade da onda são dados por uma equação.	X		
6. O período (T) de uma onda é o intervalo de tempo para que cada ponto do meio por onde a onda se propaga execute uma oscilação completa. No caso de uma onda sonora, o período é o tempo que leva para a onda completar um ciclo completo de oscilação.	X		
7. O período de uma onda sonora é inversamente proporcional à frequência, ou seja, quanto maior a frequência, menor será o período da onda.	X		

8. A amplitude de uma onda sonora está relacionada com a intensidade do som, que representa o volume do som.	X		
9. O comprimento de onda é representado pela letra grega lambda (λ) e pode ser calculado usando a equação fundamental das ondas: velocidade = comprimento de onda / período.	X		
10. A Acústica é a área da Física que também estuda as características do som.	X		
11. O som é uma onda mecânica.	X		
12. Quando as ondas sonoras chegam ao nosso ouvido, elas são transformadas em sinal elétrico através da pressão acústica		X	
13. Os seres humanos são capazes de ouvir uma faixa de frequências sonoras, chamada de espectro audível, que se estende entre 20 Hz e 20.000 Hz, aproximadamente.	X		
14. Sons com frequências abaixo de 20 Hz são chamados de infrassons e sons com frequências acima de 20.000 Hz são chamados de ultrassons, esses sons não podem ser ouvidos pelo ouvido humano, mas podem ser percebidos por outros animais ou por meio de equipamentos especiais.	X		

APÊNDICE B – TEXTO DE APOIO: ACÚSTICA

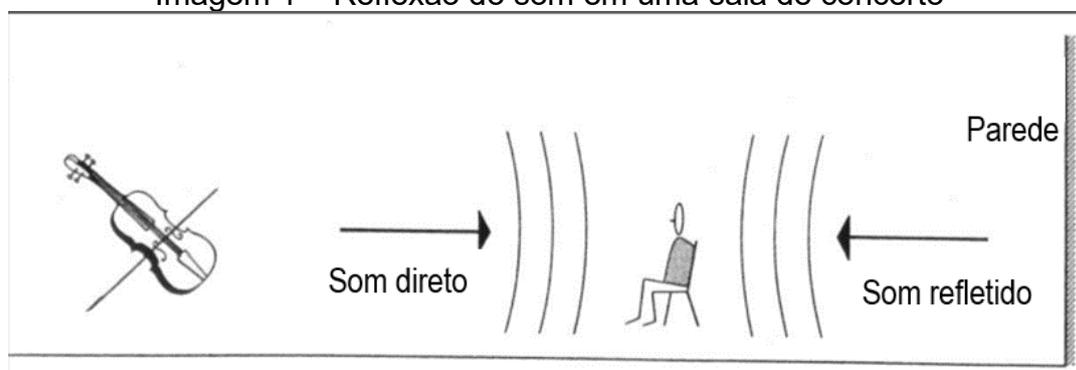
Introdução ao Estudo da Acústica

A **Acústica** é um ramo da Física que investiga o comportamento das **ondas sonoras**, englobando a **produção, propagação, recepção** e os **efeitos do som** (Kinsler *et al.*, 2000). O termo “acústica” vem do grego “akoustikos”, que significa “relativo à audição”. Este campo diversificado tem uma variedade de subdisciplinas e aplicações em muitas áreas da ciência e engenharia, por exemplo, acústica musical, acústica arquitetônica, acústica subaquática, acústica de ruído, ultrassonografia.

A Acústica nos permite analisar a natureza complexa das **ondas sonoras**, que se propagam através de diferentes meios, como o ar, a água e os sólidos. Ela abrange o estudo dos fenômenos ondulatórios, como **reflexão, refração, difração e absorção do som**.

Um exemplo prático da aplicação da Acústica é o estudo da **reflexão** do som, que ocorre quando uma onda sonora encontra uma superfície e parte da energia sonora é refletida de volta para o meio de onde veio. A imagem abaixo ilustra a reflexão do som.

Imagem 1 – Reflexão do som em uma sala de concerto



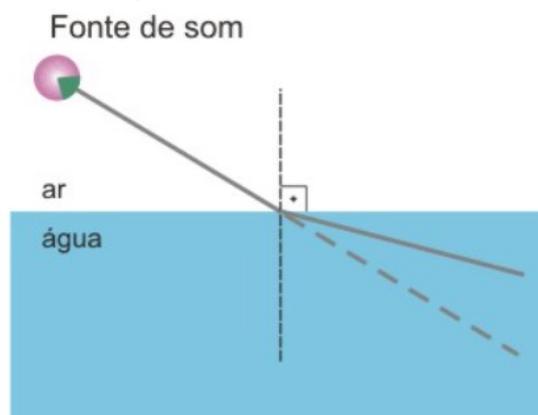
Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7967936/mod_resource/content/0/Natureza%20ondulatoria.pdf Acesso em: 13/12/2023.

A **refração** do som também é um fenômeno estudado pela Acústica. Recebe o nome de refração a mudança de direção que sofre uma onda sonora quando passa de um meio de propagação para outro.

Esse fenômeno ocorre quando uma onda sonora passa de um meio para outro com propriedades acústicas diferentes, quando uma onda sonora muda de ângulo, geralmente ocorrem efeitos como reflexão, refração e difração. A imagem abaixo ilustra um exemplo de refração do som ao passar de ar para água.

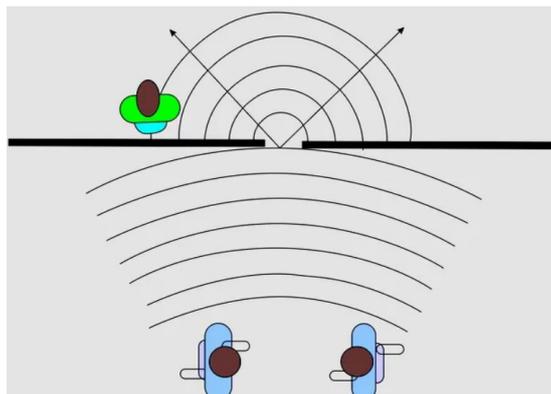
Imagem 2 - Refração do som ao passar de ar para água



Fonte: <https://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2010/09/ondas.html> Acesso em: 13/12/2023.

A **Difração** do som é outro fenômeno estudado pela Acústica. A difração é a mudança na direção da propagação da onda devido à passagem do som por um obstáculo qualquer. A difração ocorre quando uma onda sonora encontra um obstáculo ou uma abertura com dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda. O grau de difração depende da relação entre o tamanho do obstáculo ou da abertura e o comprimento da onda. Um exemplo do cotidiano sobre esse fenômeno ocorre quando ouvimos o som de uma conversa vindo de uma sala vizinha, ainda que a porta esteja fechada.

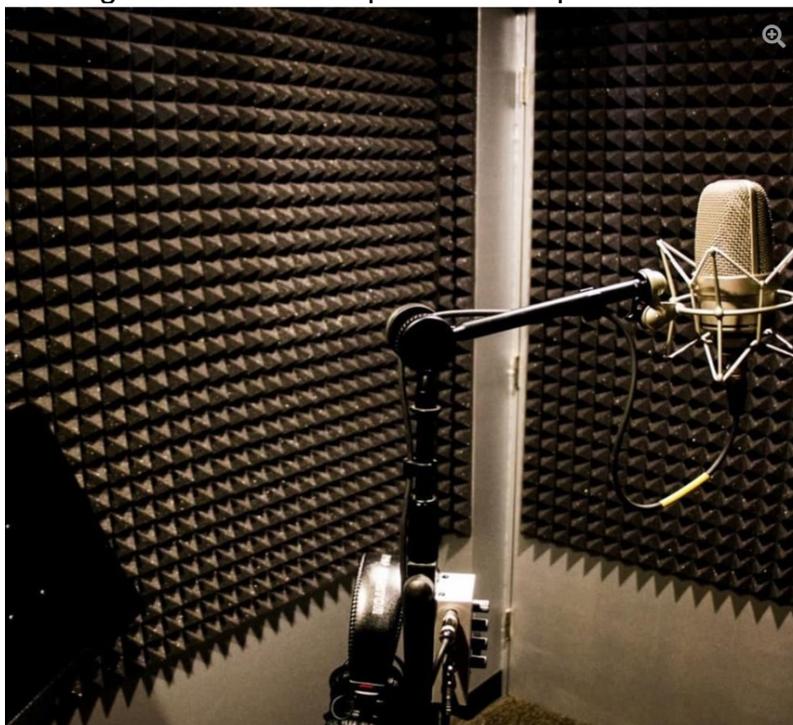
Imagem 3 – Difração do Som



Fonte: <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/fenomenos-ondulatorios.html> Acesso em: 13/12/2023.

Um outro exemplo de como a Acústica abrange a pesquisa dos fenômenos ondulatórios ocorre com o estudo da **absorção** do som por materiais e superfícies. Diferentes materiais possuem propriedades de absorção sonora variáveis, e nesse sentido, busca-se entender como os sons são absorvidos em diferentes ambientes. Entender esse fenômeno ajuda na criação de espaços acusticamente confortáveis e na redução de ruídos indesejados.

Imagem 4 – Sala com painéis de espuma acústica



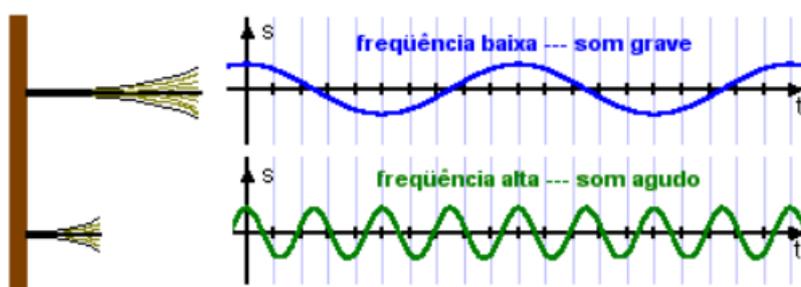
Fonte: <https://www.auralexchange.com/product/nankarrow-neomax-pyramid-6-pcs-1ft-x-1ft-pyramid-acoustic-foam-panel/> Acesso em: 13/12/2023.

A ilustração acima mostra uma sala revestida de painéis de espuma acústica. No cotidiano, estes painéis são amplamente utilizados em estúdios de gravação, salas de controle de áudio, ou seja, onde a qualidade sonora é essencial. A qualidade de gravação é melhor em uma sala revestida com painéis de espuma acústica devido à capacidade desses materiais de absorver o som, convertendo sua energia em calor. Esses painéis reduzem as reflexões indesejadas, minimizam a reverberação (quando o som persiste depois de ter sido extinta sua emissão por uma fonte, resultando em reflexões nas paredes de um recinto total ou parcialmente fechado) e isolam acusticamente a sala, proporcionando um ambiente controlado e livre de ruídos externos, resultando em gravações mais nítidas, precisas e de alta qualidade.

Algumas características do som são fundamentais para a nossa percepção e compreensão auditiva do mundo ao nosso redor. Tais características são estudadas e aplicadas a diversos campos com objetivo de entender e manipular as propriedades sonoras para diversos fins. No campo da Acústica, o estudo e a compreensão das características do som, como frequência, amplitude e velocidade, são fundamentais. O estudo aprofundado dessas características sonoras na Acústica desempenha um papel central na nossa capacidade de compreender, explorar e utilizar o som de maneira eficaz em diversas áreas da ciência e da vida cotidiana.

Frequência: trata-se de uma medida da taxa de oscilação das ondas sonoras. Mede-se a frequência em Hertz (Hz), que representa o número de ciclos completos de oscilação que ocorrem em um segundo. Ela determina a altura perceptível do som, ou seja, se o som é grave ou agudo.

Imagem 5 – Frequência do Som



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/> Acesso em: 13/12/2023.

Conforme depreende-se da ilustração acima, comprimentos de ondas pequenos são de frequência alta, e comprimentos de onda grandes são de ondas de baixa frequência. Logo, pode-se afirmar que quanto maior a frequência de uma onda sonora, mais ciclos de oscilação ocorrem em um segundo e mais agudo é o som percebido, e por outro lado, uma frequência mais baixa resulta em um som mais grave. A frequência do som tem relação com a percepção humana, sendo que a faixa audível para a maioria das pessoas está aproximadamente entre 20 Hz e 20.000 Hz.

Amplitude: é uma característica essencial do som que quantifica a quantidade de energia sonora que atravessa uma unidade de área de uma superfície perpendicular à direção de propagação, durante um intervalo de tempo específico. Em síntese, é a potência sonora recebida por unidade de área da superfície. Sua importância é evidenciada na forma como percebemos a intensidade do som ao nosso redor. Quanto maior a amplitude, maior a energia transportada pela onda sonora, resultando em um som percebido como mais alto e mais intenso. A amplitude é comumente expressa em unidades de pressão, como Pascal (Pa), ou em uma escala logarítmica de decibéis (dB).

A amplitude está relacionada à intensidade do som. Intensidade se refere à quantidade de energia sonora que atinge o ouvido por unidade de área. Ela é diretamente influenciada pela amplitude das ondas sonoras. A intensidade é frequentemente medida em decibéis (dB), uma escala logarítmica que descreve a potência do som. Para calcular os decibéis, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ onde:}$$

- "I" é a intensidade do som em questão e
- "I₀" é a intensidade de referência (geralmente a menor intensidade audível pelo ouvido humano).

Essa escala logarítmica permite a representação das variações de intensidade sonora em uma forma mais perceptível e prática.

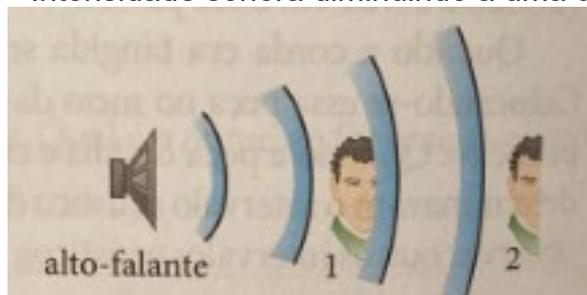
A intensidade do som diminui à medida que a distância entre a fonte sonora e o ponto de medição aumenta. Esta diminuição está associada à distribuição da energia sonora à medida que as ondas se expandem pelo ambiente. Para descrever como a intensidade cai com a distância, podemos usar a seguinte equação:

$$I = \frac{Pot}{A} \quad , \text{ onde } A = 4\pi x^2 \quad , \text{ e assim } I = \frac{Pot}{4\pi x^2}$$

- “I” representa a intensidade do som em watts por metro quadrado (W/m²).
- Pot é a potência da fonte sonora em watts (W).
- A= área da superfície esférica
- $A = 4\pi x^2$, é a área de uma esfera pela qual a energia sonora se espalha

A intensidade de uma onda sonora esférica será inversamente proporcional ao quadrado da distância até a fonte. Assim, se a intensidade do som é I a uma distância “d” da fonte sonora, ela será I/4 uma distância 2d. Note na figura abaixo, que a mesma potência emitida pelo alto falante se dilui cada vez mais, pois fica espalhada numa superfície cada vez maior.

Imagem 6 – Intensidade sonora diminuindo a uma distância “d”



Fonte: Newton; Helou; Gualter (2016, p.158)

Velocidade: A velocidade do som se define como a taxa de propagação das perturbações acústicas em um meio específico. Essa velocidade está intrinsecamente relacionada às características do meio em que as ondas sonoras se propagam. A determinação da velocidade do som em um meio

depende de duas propriedades fundamentais desse meio: densidade e elasticidade.

A densidade se refere à quantidade de matéria por unidade de volume em um material, enquanto a elasticidade se relaciona com a capacidade do material de retornar à sua forma original após sofrer deformação. Essas propriedades têm um impacto direto na velocidade com que as ondas sonoras podem se propagar. A relação entre densidade e elasticidade e sua influência na velocidade do som é bem descrita pela fórmula de Newton-Laplace, que relaciona essas propriedades ao quadrado da velocidade do som (v):

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad \text{onde:}$$

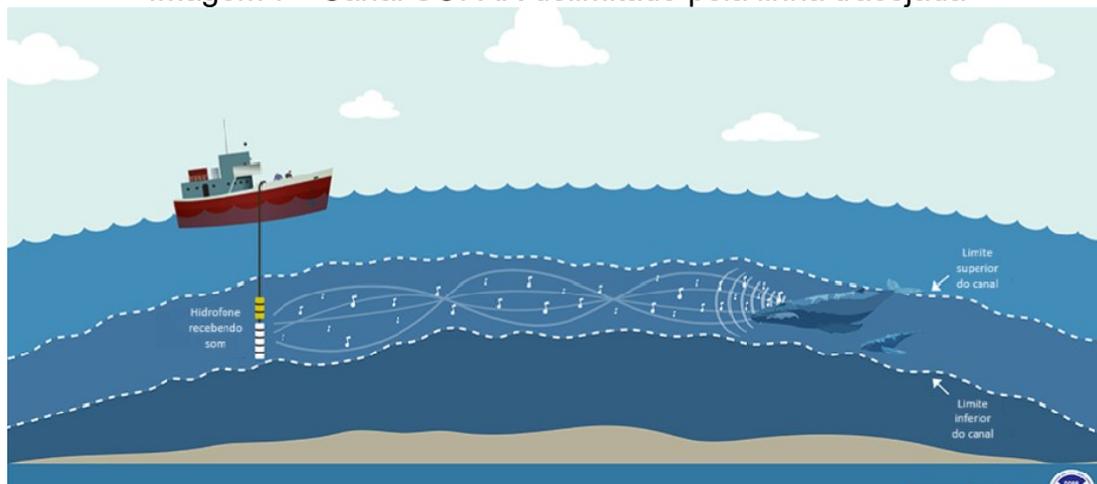
- v é a velocidade do som no meio.
- B representa a elasticidade do meio, geralmente denominada como módulo de compressibilidade ou módulo de elasticidade volumétrica.
- ρ é a densidade do meio.

A velocidade do som varia significativamente de um meio para outro devido às diferenças em densidade e elasticidade. Por exemplo, no ar à temperatura ambiente, a velocidade do som é aproximadamente 343 metros por segundo. Em contraste, na água, a velocidade do som é muito maior, em torno de 1480 metros por segundo, devido à maior densidade e elasticidade desse meio.

Timbre: O timbre é um conceito fundamental na música, sendo um dos elementos responsáveis por conferir personalidade e identidade sonora a diferentes instrumentos e vozes. Ele se refere à qualidade única do som que permite distinguir entre diferentes fontes sonoras, mesmo quando esses emitem a mesma nota musical. O timbre é muitas vezes descrito como o "cor" do som e é determinado por diversos fatores, incluindo a forma de onda, a intensidade, a duração e a combinação de harmônicos.

CURIOSIDADE! Você já ouviu falar em **SOFAR Channel (Canal SOFAR)**?

Imagem 7 - Canal SOFAR delimitado pela linha tracejada



Fonte: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/sofar.html> Acesso em: 13/12/2023.

Durante o auge da Segunda Guerra Mundial, os cientistas conduziram um experimento para testar a teoria de que o som de baixa frequência tinha a capacidade de viajar longas distâncias nas profundezas do oceano. Nesse experimento, um hidrofone foi implantado a partir de um navio de pesquisa ancorado em *Woods Hole*, Massachusetts. A cerca de 1.500 quilômetros de distância, outro navio lançou um explosivo de quatro libras a uma profundidade específica abaixo da superfície do oceano. A explosão resultante gerou pulsos de som que percorreram uma distância de 1.400 quilômetros entre os dois navios. Esse evento marcou a primeira detecção do que os pesquisadores denominaram como **SOFAR**, uma abreviação para "*Sound Fixing And Ranging*". Os cientistas observaram que "o fim da transmissão do canal de som foi tão nítido que era impossível para o observador mais inexperiente perdê-lo" (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2023).

A relevância do canal **SOFAR** reside na sua notável capacidade de facilitar a propagação de sons por distâncias substanciais com uma reduzida perda de energia. No interior desse canal, as ondas sonoras inicialmente irradiam em todas as direções. No entanto, quando essas ondas encontram regiões de água mais rasa ou mais profunda do que o canal, onde a velocidade de transmissão do som é maior, ocorre o fenômeno da refração. Na refração, as ondas sonoras tendem a curvar-se de volta em direção à área onde a

velocidade de transmissão do som é mais baixa, que, neste caso, é o próprio canal *SOFAR*. Esse comportamento permite que uma parte significativa do som seja retida no canal, possibilitando que ele percorra grandes distâncias com uma perda de energia mínima (Webb, 2023).

O canal *SOFAR* apresenta uma variedade de aplicações práticas significativas. Acredita-se que as baleias de barbatanas utilizem esse canal para se comunicarem entre si a distâncias extraordinárias, que podem variar de centenas a milhares de quilômetros. Além disso, os militares exploraram o canal *SOFAR* como uma ferramenta para rastrear submarinos, e durante a Segunda Guerra Mundial, ele foi empregado para localizar pilotos abatidos, bem como navios e aeronaves desaparecidos. Mais recentemente, na década de 1990, surgiu a ideia de que o canal *SOFAR* poderia ser aproveitado para monitorar as temperaturas oceânicas globais. Essa ampla gama de aplicações demonstra o valor e a versatilidade desse canal acústico natural na compreensão e na utilização de recursos nos ambientes subaquáticos (Webb, 2023).

Conforme visto no decorrer desta leitura, a velocidade do som desempenha papel fundamental em diversas áreas científicas e tecnológicas, como por exemplo, na medicina, na aeronáutica, na indústria de materiais, portanto, sua compreensão é essencial para o avanço do conhecimento em várias áreas acadêmicas e campos de aplicação.

Imagem 7 – A determinação da velocidade do som nos tecidos é essencial para calcular distâncias e gerar imagens médicas em ultrassonografia.



Fonte: <https://oncomogi.com.br/ultrassonografia/> Acesso em: 13/12/2023.

Na imagem acima, quando as ondas sonoras emitidas pelo transdutor do ultrassom encontram uma fronteira entre dois tecidos com diferentes velocidades de som, parte da onda é refletida de volta para o transdutor e parte continua sua trajetória. Essa reflexão e refração das ondas sonoras nos tecidos produz informações precisas para a geração de imagens. Ao registrar o tempo que leva para as ondas sonoras refletidas retornarem ao transdutor, o sistema de ultrassom pode calcular a profundidade e a localização das estruturas dentro do corpo. A diferença nas velocidades de propagação das ondas sonoras em distintos tipos de tecidos desempenha um papel fundamental na obtenção de imagens de alta resolução, conferindo à ultrassonografia um status de ferramenta essencial para a realização de diagnósticos de elevada precisão e o monitoramento clínico.

Embora o estudo da Acústica envolva principalmente conceitos de Matemática e Física, ele também pode envolver conceitos de **Biologia** em algumas áreas específicas, especialmente quando se trata de entender como o som é percebido pelos **seres vivos**. Por exemplo, a **Bioacústica** é uma área interdisciplinar que combina a Biologia e a Acústica para estudar como os animais produzem e percebem o som. Ela abrange o estudo da comunicação sonora entre animais, bem como a percepção do som pelo **sistema auditivo humano**.

A Acústica tem aplicações em diversas áreas, como música, arquitetura, engenharia e medicina. Na **música**, a Acústica é usada para entender como os instrumentos musicais produzem som e como o som é percebido pelo ouvido humano. Na **Arquitetura** e **Engenharia**, a Acústica é usada para projetar espaços com boa qualidade sonora e para reduzir o ruído em ambientes internos e externos. A Acústica também tem aplicações na **medicina**, como no caso da **ultrassonografia**, que usa ondas sonoras de alta frequência para produzir imagens do interior do corpo humano. Nesse caso, o conhecimento de conceitos de Biologia é importante para entender como as ondas sonoras interagem com os tecidos do corpo humano. Portanto, percebe-se que desde logo que a Acústica é uma área fascinante que nos ajuda a entender melhor o mundo ao nosso redor.

Você sabia que existem sons que o ouvido humano não é capaz de ouvir?

Os seres humanos são capazes de ouvir sons que se estendem entre as frequências de 20 Hertz (Hz) e 20.000 Hertz (Hz). Sons com frequências abaixo de 20 Hz são chamados de **infrassons** e sons com frequências acima de 20.000 Hz são chamados de **ultrassons**. Esses sons **não podem ser ouvidos pelo ouvido humano**, mas podem ser percebidos por outros animais ou por meio de equipamentos especiais.

Os **infrassons** são ondas sonoras extremamente graves, com frequências abaixo dos 20 Hz. Eles podem ser produzidos por fenômenos naturais, como terremotos e avalanches, ou por atividades humanas, como explosões e motores a diesel. Alguns animais, como baleias e elefantes, também podem produzir e perceber infrassons.

Os **ultrassons** são ondas sonoras extremamente agudas, com frequências acima dos 20.000 Hz. Eles são usados em diversas áreas do conhecimento e para diversos fins investigativos. Na medicina, os ultrassons são usados em exames de imagem, como a ultrassonografia. Nesse exame, um transdutor emite ondas sonoras de alta frequência que penetram no corpo humano e são refletidas pelos tecidos internos. O transdutor capta as ondas refletidas e as converte em imagens que podem ser visualizadas em um monitor.

Os ultrassons também são usados na indústria para detectar falhas em materiais e para medir a espessura de objetos. Eles também podem ser usados para limpar objetos delicados, como joias e instrumentos cirúrgicos. Alguns animais, como morcegos e golfinhos, também podem produzir e perceber ultrassons. Eles usam essas habilidades para navegar, localizar presas e evitar predadores.

Portanto, existem sons que o ouvido humano não é capaz de ouvir, mas que podem ser importantes para outras espécies animais e para diversas aplicações tecnológicas. Em síntese, podemos concluir que o estudo dos fenômenos citados neste breve texto são fundamentais para o avanço tecnológico e para a compreensão de como o som afeta o mundo ao nosso redor.

REFERÊNCIAS

KINSLER, L. E.; Frey, A. R.; Coppens, A. B.; Sanders, J. V. **Fundamentals of Acoustics**. New York: John Wiley & Sons. 2000

LIMA, J. J. P. de. **Ouvido, Ondas e Vibrações**: aspectos físicos e biofísicos. Portugal: Coimbra University Press, 2012.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **SOFAR**: The Secret Sound Channel. 2023. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/sofar.html> Acesso em: 18 out. 2023

NEWTON, V.B; HELAU, R.D; GUALTER, J.B. **Física**: termologia, ondulatória, óptica. v.2, 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. v. 2, 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2002.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II**: termodinâmica e ondas. 14 ed. Trad Daniel Vieira. São Paulo: Pearson Education, 2015.

WEBB, P. **Introduction to Oceanography**. Roger Williams University. 2023. Disponível em: <http://rwu.pressbooks.pub/webboceanography> Acesso em 18 out. 2023.

APÊNDICE C – MATERIAL DE APOIO: ONDAS SONORAS

Estes slides foram produzidos pela autora, utilizando um layout “pronto” disponibilizado no programa “Microsoft Power Point”. Abaixo disponibilizamos o link para download em caso de necessidade de adaptação de algum conteúdo.

Disponível em:

<<https://1drv.ms/p/s!Aqa8-mNXxRqRrQGx5BbvbpVyhPmT?e=lvH8Pb>>



O que é uma onda?

- A **ondulatória** é a parte da Física que **estuda** as **ondas**, como por exemplo, a onda numa corda, onda do mar, ondas eletromagnéticas como a luz e ondas sonoras como o som
- Uma onda é uma **perturbação** que se **propaga** no **espaço** ou em qualquer **outro meio** sem **transporte** de matéria, apenas de **energia**.

As ondas marítimas são ondas mecânicas

SEMPRE SEJA INCRÍVEL

Jens Martensson 2

As ondas podem ser classificadas:



- Quanto a natureza
 - Ondas mecânicas;
 - Ondas eletromagnéticas;
 - Ondas gravitacionais
- Quanto à direção de vibração
 - Ondas transversais
 - Ondas longitudinais
- Quanto à direção de propagação
 - Ondas unidimensionais
 - Ondas bidimensionais
 - Ondas tridimensionais

Jens Martensson

3

Classificação quanto a natureza:

Ondas Mecânicas

- Precisam de um meio físico para se propagarem, como as ondas sonoras e as ondas em uma corda.
- A descrição do comportamento desse tipo de onda é feita pelas Leis de Newton.
- Exemplos: As ondas marítimas, ondas sonoras, ondas sísmicas.



Ondas Eletromagnéticas

- Não necessitam de um meio material para se propagarem, como as ondas de rádio e a luz.
- Elas são descritas pelas equações de Maxwell
- Exemplos: A luz, o raio X, micro-ondas, ondas de transmissão de sinais.

Ondas Gravitacionais

- As ondas gravitacionais são ondulações na curvatura do espaço-tempo que se propagam como ondas, viajando para o exterior a partir da fonte.
- As ondas gravitacionais foram previstas em 1916 por Albert Einstein com base na teoria da relatividade geral.

Jens Martensson

4

Classificação quanto à direção de vibração

Ondas transversais

- A vibração ocorre perpendicularmente à direção de propagação



Ondas longitudinais

- A vibração ocorre ao longo da direção de propagação



(de <http://www.saldefisica.cb.net>)

Jens Martensson

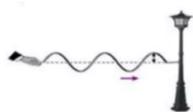
5

Classificação quanto à direção de propagação

Ondas unidimensionais

- Se propagam em apenas uma direção

Ex: onda de uma corda



Unidimensionais

Ondas bidimensionais

- Se propagam em até duas direções

Ex: onda provocada pela queda de algum material na água



Tridimensionais

Ondas tridimensionais

- Se propagam em todas as direções

Ex: as ondas sonoras



Bidimensionais

Jens Martensson

6

Assim, podemos dizer que o SOM é:



É uma onda do tipo **mecânica e tridimensional**, pois precisa de um meio para se propagar e pode ser percebido em todas as direções. O som é uma onda **longitudinal**, ou seja, a direção de propagação é paralela à vibração que o gerou



Jens Martensson

7

Grandezas associadas às ondas:

As ondas são caracterizadas por diversas grandezas que permitem descrever suas características e comportamentos.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
Amplitude	Corresponde à altura da onda, marcada pela distância entre o ponto de equilíbrio (repouso) da onda até a crista. A "crista" indica o ponto máximo da onda, enquanto o "vale", representa a ponto mínimo
Comprimento	Representado pela letra grega lambda (λ), é a distância entre dois vales ou duas cristas sucessivas
Frequência	É o número de oscilações completas que uma onda realiza em um segundo. A unidade de medida da frequência é o Hertz (Hz)
Período	É o tempo necessário para que uma onda realize uma oscilação completa. O período é inversamente proporcional à frequência

Jens Martensson

8

A velocidade de uma onda pode ser relacionada com o comprimento de onda, com a frequência de oscilação ou com o período de oscilação. A equação que relaciona essas grandezas é denominada equação fundamental da ondulatória e é dada por:

$$v = \lambda \cdot f$$

Jens Martensson

9

Velocidade de propagação do Som:



MEIO	VELOCIDADE (M/S)
Ár	343
Água	1.482
Ferro	5.120



- A velocidade do som é influenciada pelo estado físico dos materiais em que se propaga. Nos sólidos, o som se propaga mais rapidamente do que nos líquidos e nos gases.
- A velocidade do som também é influenciada pela temperatura, sendo que quanto mais elevada ela for, mais rapidamente o som se propaga

Jens Martensson

10



Ondas sonoras e os diversos fenômenos:



Difração Reflexão
Refração Interferência

Leia atentamente os conceitos apresentados no texto de apoio

Jens Martensson

11

Referências

Todo Estudo. **Ondas sonoras: o que é, características, tipos de ondas e exercícios.**
Disponível em: <https://www.todoestudo.com.br/fisica/ondas-sonoras>

Toda Matéria. **Ondas Sonoras.**
Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/ondas-sonoras/>

InfoEscola. **Ondas sonoras.**
Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/ondas-sonoras/>

Jens Martensson

12



APÊNDICE D – MAPA CONCEITUAL – ONDAS SONORAS

Caro(a) professor (a)

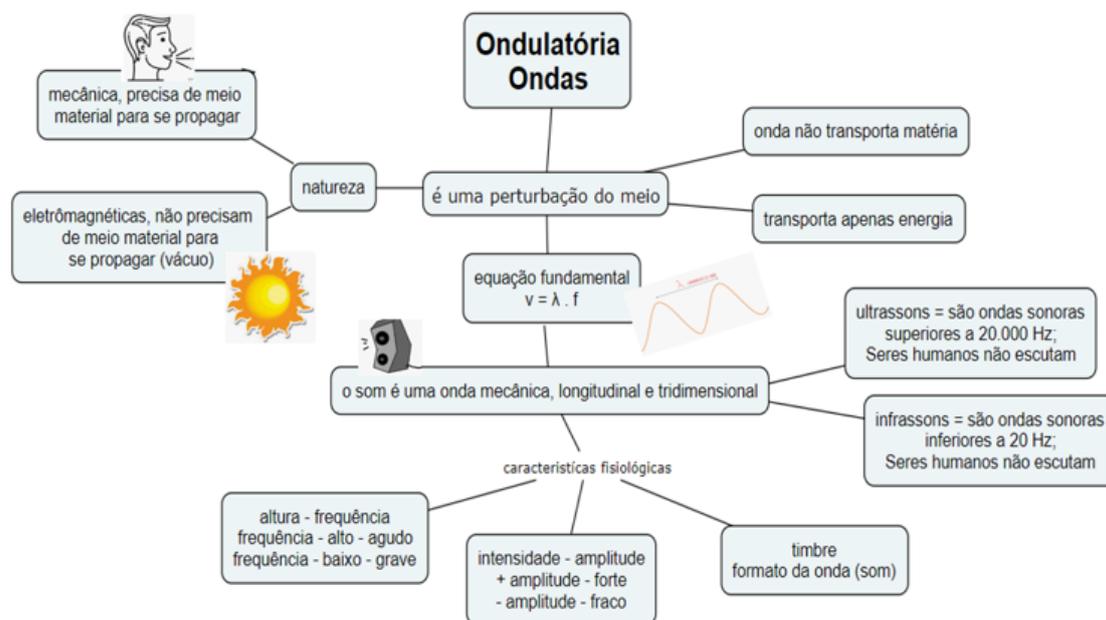
O mapa conceitual é uma ferramenta gráfica que tem como principal objetivo representar relações entre conceitos por meio de uma estrutura hierárquica. Ele é utilizado para ajudar na organização e representação do conhecimento. No contexto educacional, o mapa conceitual se torna uma estratégia poderosa, pois permite que os estudantes visualizem as conexões entre os conceitos, tornando o aprendizado mais significativo.

Dentro da atividade pedagógica proposta sobre ondas sonoras, o mapa conceitual desempenha um papel crucial. Durante a aula expositiva, os estudantes são introduzidos a conceitos complexos como características e propriedades das ondas sonoras, correlações entre temperatura e velocidade de propagação do som, entre outros. Nesse cenário, o mapa conceitual serve como uma âncora visual, ajudando os alunos a conectar e contextualizar as informações apresentadas.

O professor deve iniciar a construção do mapa conceitual de forma colaborativa em sala de aula. Ao apresentar apenas algumas palavras-chave relacionadas ao tema das ondas sonoras, o educador pode convidar os alunos a pensar sobre as possíveis ligações e hierarquias entre esses conceitos. Esta atividade não apenas engaja os estudantes ativamente, como também os desafia a refletir sobre as relações e significados dos conceitos em tempo real.

Construir o mapa conceitual conjuntamente oferece aos alunos a oportunidade de participar ativamente do seu processo de aprendizagem, tornando o conteúdo mais significativo para eles, permitindo que os estudantes explorem suas próprias compreensões e confrontem possíveis equívocos. A interação e a discussão que surgem durante essa construção colaborativa podem revelar percepções valiosas sobre o processo de ensino/aprendizagem dos alunos, permitindo que o professor faça ajustes imediatos na abordagem de ensino. Ao final da atividade, os alunos não só terão um mapa conceitual completo sobre ondas sonoras, como também uma compreensão mais profunda e integrada do tema, fruto da construção coletiva.

O mapa conceitual proposto pela autora, que você encontrará na próxima página, é uma recomendação para orientação.



REFERÊNCIAS

Walker, Jearl. **Halliday/Resnick - Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Curso Enem Gratuito. **Acústica**. [Vídeo]. YouTube. 2018. Disponível em: https://youtu.be/0mN_R0pBZqc?si=6-bjXz08PINFnsw8

Curso Enem Gratuito. **Ondulatória**. [Vídeo]. YouTube. 2018. Disponível em: <https://youtu.be/KAT6cvhQGTc?si=CO6SnpAXOoAk0HVP>

APÊNDICE E – ROTEIRO: ONDAS SONORAS X ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Tema: Velocidade do Som

Objetivos: - Comparar a velocidade da luz com a velocidade do som.

- Verificar que os fenômenos luminosos são mais rápidos que os sonoros.
- Observar o intervalo entre o efeito luminoso de um raio e o som correspondente.

Competências: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BNCC, 2018).

Passo a passo da atividade:

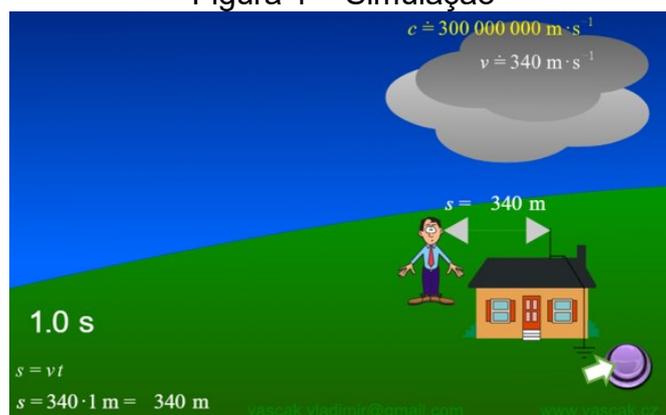
(1) Antes da aula, acesse o link da simulação para se familiarizar com a ferramenta. Disponível em:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s kv_rychlost_zvuku&l=pt

(2) Apresente aos alunos o tema e os objetivos da aula.

(3) Clique no botão roxo à direita (conforme indicado) e peça aos alunos para observarem o raio disparado da nuvem.

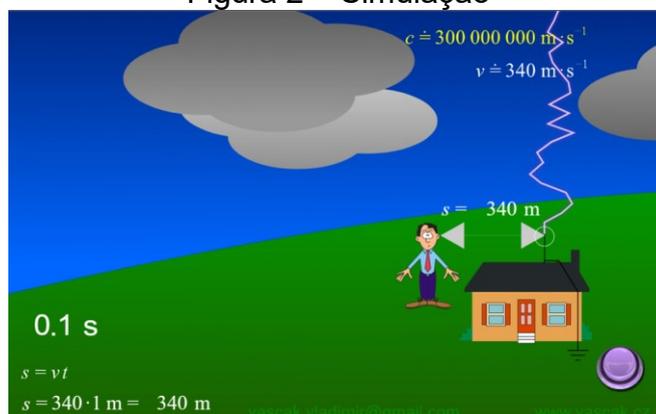
Figura 1 – Simulação



Fonte: acervo dos autores (2023)

Ao realizar o comando anterior, você perceberá um raio disparado da nuvem, conforme figura abaixo:

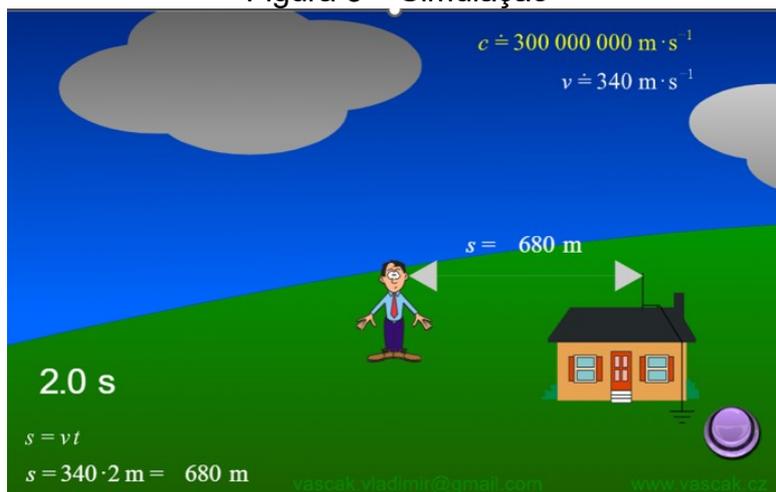
Figura 2 – Simulação



Fonte: elaborado pela autora (2023)

(4) Peça a um aluno para mover o observador para 680m e, em seguida, pressione o botão roxo novamente. Peça-lhes para notar o tempo que leva para o som do raio chegar após ver o raio:

Figura 3 – Simulação

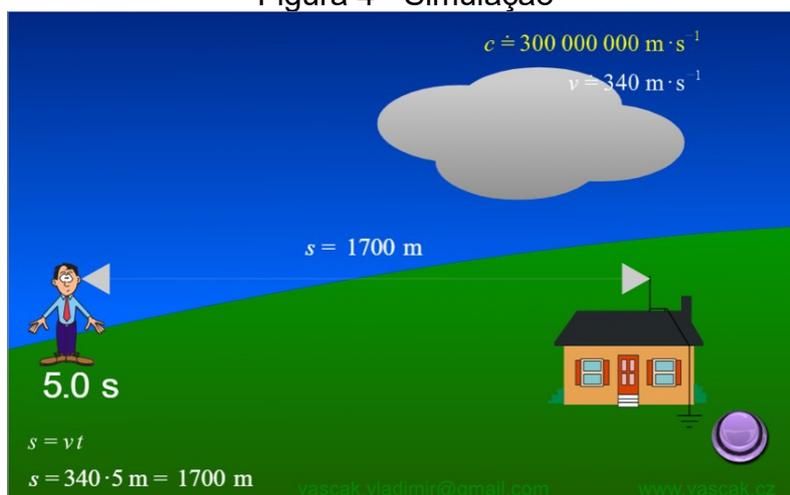


Fonte: acervo dos autores (2023)

Destaque com os alunos quanto ao tempo que o observador irá escutar o som do raio a uma distância de 680 m, após observar o fenômeno luminoso, compare com a simulação de 340 m.

(5) Agora repita a operação anterior, arrastando o observador até 1700 m e pressione novamente o botão roxo, conforme figura abaixo.

Figura 4 - Simulação



Fonte: acervo dos autores (2023)

Destaque com os alunos os dados observados em relação ao tempo que o observador irá escutar o som do raio a uma distância de 1700 m, após visualizar o fenômeno luminoso. Compare com a simulação anterior, quando o observador se encontrava a uma distância de 680 m.

(6) Após realizar as simulações acima, utilizando o quadro branco/lousa, construa com os alunos uma tabela das simulações.

$$\text{Equação; } \frac{s}{v} = t$$

Quadro 1 – Dados observados na simulação

Distância do fenômeno observável (s)	Velocidade do som (m/s)	Tempo em que o observador escuta o som do raio (s)
340 m	340 m/s	1s
680 m	340 m/s	2s
1700 m	340 m/s	5s

Fonte: Elaboradora pela autora (2023)

(7) Por fim, explique e apresente os conceitos teóricos que possibilitam a compreensão do que foi observado a partir da demonstração prática. Várias questões norteadoras poderão dar início a exposição e serem discutidas. Uma sugestão para iniciar este momento é lançar a seguinte questão norteadora: Por que os fenômenos luminosos são vistos mais rápidos que os sonoros?

(8) Para reforçar a demonstração prática, o professor pode projetar imagens de fogos de artifício e de um jogador de futebol chutando ao gol comentando com os alunos porque vemos a ação antes de ouvir o som correspondente:

Imagem 5 - Fogos de Artifício



Fonte: <http://desafiocriativo.blogspot.com>
Acesso em: 13/12/2023.

Imagem 6 – Chute em Jogo



Fonte: <https://www.gameblast.com.br>
Acesso em: 13/12/2023.

Concluir afirmando que quando assistimos a um show de fogos de artifício, enxergamos as luzes das explosões no céu antes de ouvir o som dos

fogos de artifício e quando vamos assistir a um jogo de futebol no estádio, vemos o jogador chutando a bola antes de ouvir o som do chute.

APÊNDICE F – EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO: ONDAS SONORAS

Aluno:
A seguir, você encontrará uma lista de exercícios de fixação para testar seus conhecimentos e aprofundar seus estudos. A lista contém exercícios da matéria de ondas sonoras.
1 - O som é uma onda transversal ou longitudinal? Resposta:
2 - A onda sonora se propaga no vácuo? () sim () não () não sei
3 - Quais são, aproximadamente, o menor e o maior valor das frequências que o ouvido humano podem perceber? Resposta:
4 - Conceitue infrassons e ultrassons: Infrassons: Ultrassons:
5 - Quando uma onda passa de um meio para outro, gostaria de saber se as grandezas λ (comprimento de onda), v (velocidade) e f (frequência) variam ou permanecem constantes nesse processo? Resposta:

6 - Dada a velocidade de propagação de uma onda sonora no ar de 450 m/s e o comprimento de onda conhecido de 50 cm, calcule a frequência dessa onda sonora.

Resolução:

7 - Dada uma fonte sonora que emite um som com frequência de 440 Hz nas margens de um lago, onde a velocidade do som no ar é de 352 m/s, e na água, onde a velocidade de propagação é de aproximadamente 1496 m/s, calcule o comprimento de onda desse som nos seguintes meios de propagação:

a) No ar;

Resolução:

b) Na água;

Resolução:

GABARITO DOS EXERCÍCIOS

Este gabarito fornece as respostas para os exercícios relacionados às ondas sonoras. Espera-se que os alunos compreendam conceitos fundamentais como a natureza das ondas sonoras, a diferença entre infrassons e ultrassons, e as características da refração e reflexão sonora. Estas resoluções servem como um guia de referência, permitindo que os educadores avaliem a compreensão e o progresso dos alunos em relação ao tópico abordado.

Resolução 1 - Ondas longitudinais, pois precisam de um meio material para se propagar.

Resolução 2 - Não, pois no vácuo não a matéria que possibilite está propagação.

Resolução 3 - Menor 20 Hz, maior 20.000 Hz.

Resolução 4 - Infrassons são ondas sonoras extremamente graves, com frequências abaixo dos 20 Hz; Ultrassons são ondas sonoras extremamente agudas, com frequências acima dos 20.000 Hz.

Resolução 5 - Na refração velocidade e comprimento de onda variam já a frequência permanece constante. Na reflexão as variáveis são constantes.

Resolução 6 - $\lambda = 50 \text{ cm} = 0,5\text{m}$

$$v = f \cdot \lambda$$

$$\frac{450 \text{ m/s}}{0,5 \text{ m}} = f$$

$$900 \text{ Hz} = f$$

Resolução 7 -

a) Ar- $\lambda = \frac{352 \text{ m/s}}{440 \text{ Hz}} = \lambda 0,8\text{m}$

b) Água- $\lambda = \frac{1496 \text{ m/s}}{440 \text{ Hz}} = \lambda 3,4 \text{ m}$

APÊNDICE G – TEXTO DE APOIO: PROPAGAÇÃO DO SOM

Introdução

A propagação de ondas sonoras é um fenômeno complexo que desempenha um papel fundamental na compreensão do mundo ao nosso redor. Essas ondas mecânicas, que consistem em variações de pressão no meio material, viajam através do ar, líquidos e sólidos, permitindo-nos ouvir e comunicar de diversas maneiras (Young; Freedman, 2016). O texto abaixo explorará os principais aspectos da propagação de ondas sonoras, desde os princípios fundamentais até os efeitos de variáveis ambientais e físicas.

Princípios Fundamentais da Propagação de Ondas Sonoras

As ondas sonoras são ondas longitudinais, o que significa que as partículas do meio de propagação se movem paralelamente à direção da onda. Esse movimento (Young e Freedman, 2016), ocorre em resposta a variações de pressão que são geradas por fontes sonoras vibratórias, como vozes humanas, instrumentos musicais ou motores de veículos. Uma característica crucial das ondas sonora (Knight, Jones e Field, 2020), é sua capacidade de se propagar através de diferentes meios, como o ar, a água e sólidos, o que é possível graças à transmissão de energia mecânica através das colisões entre partículas no meio.



Curiosidade!

É possível que o som possa se propagar no vácuo! As descobertas científicas no estudo da propagação de ondas sonoras realizada na Universidade de Jyvaskyla, na Finlândia, demonstraram que em condições adequadas a onda sonora pode pular ou *tunelar*, através do vácuo, saltando entre sólidos.

As ondas acústicas, conhecidas como fônons acústicos, são perturbações vibracionais que se propagam em meios materiais, mas não podem existir no vácuo devido à ausência de meio de propagação (Zhuoran Geng e Ilari Maasilta, 2023).

No entanto, em escalas atômicas, as vibrações nucleares podem se propagar através de interações elétricas, até mesmo através do vácuo. Surge, assim, a questão de se os recursos acústicos podem ser transmitidos através

de lacunas de pacotes maiores do que a escala atômica por meio de mecanismos eletromagnéticos. Esta indagação ganha relevância devido aos avanços experimentais que possibilitam a criação de lacunas de vácuo em escalas que variam de nanômetros a subnanômetros.

Velocidade do som e Temperatura

A velocidade do som é um parâmetro fundamental na propagação das ondas sonoras e está diretamente relacionada à temperatura do meio. De maneira geral, a velocidade do som varia de forma inversamente proporcional à temperatura do meio, aumentando em temperaturas mais elevadas e diminuindo em temperaturas mais baixas" (Berg; Stork, 1982). Essa relação é devida à influência da temperatura sobre a velocidade média das partículas no meio de propagação.

Quando as partículas em um meio estão em temperaturas mais elevadas, elas tendem a se mover de forma mais rápida, resultando em uma maior velocidade do som. Por outro lado, em temperaturas mais baixas, as partículas reduzem sua velocidade média, o que culmina em uma diminuição da velocidade do som (Halliday, Resnick e Walker, 2018).

Um exemplo prático é a hipótese de um submarino em uma missão no Oceano Antártico, onde a água está a uma temperatura extremamente baixa devido ao ambiente gelado, nesse contexto, quando o submarino emite um sinal sonar, essencial para a navegação e detecção de obstáculos, a velocidade do som na água fria é significativamente menor (Halliday, Resnick e Walker, 2018). Como resultado, as ondas sonoras viajam a uma velocidade mais lenta do que o esperado. Devido a essa diminuição na velocidade do som na água fria o submarino pode enfrentar alguns desafios na detecção de objetos, uma vez que o tempo de retorno das ondas sonoras é afetado.

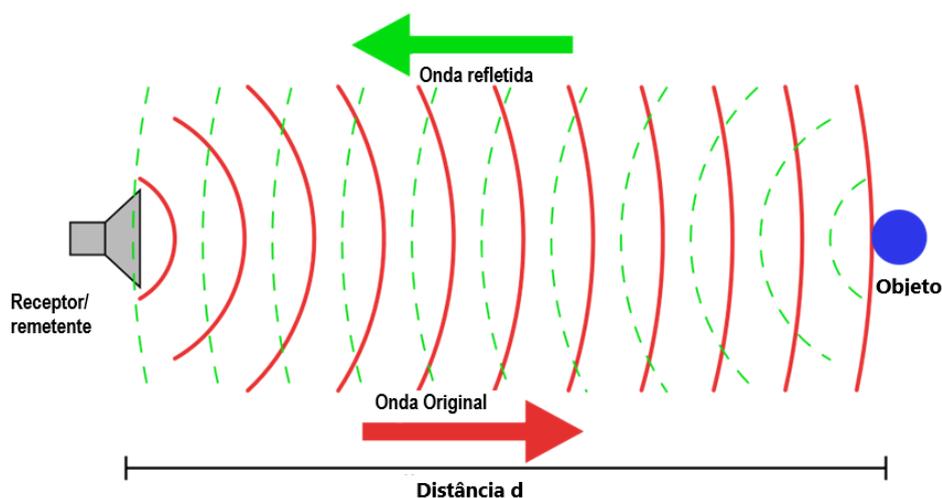
Imagem 1 – Representação da importância do sinal sonar para a navegação e detecção de obstáculos.



Fonte: https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/database/d7/assets/images/moas_0.jpg

Acesso em: 13/12/2023.

Imagem 2 – Princípio de um sonar ativo



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Sonar#/media/File:Sonar_Principle_EN.svg Acesso em: 13/12/2023.

Nesse contexto, para superar tais desafios, a equipe de navegação do submarino precisa fazer ajustes precisos em seus cálculos e operações. Eles devem levar em consideração a temperatura da água e a velocidade do som correspondente ao ambiente submarino específico em que estão operando.

Atenuação do som e Meio de Propagação

A atenuação é caracterizada pelo declínio na intensidade das ondas sonoras à medida que estas percorrem um meio material, resultante diversos

mecanismos como absorção, reflexão, refração, difração, dispersão e outros. Na propagação de ondas longitudinais, exemplificado pelas ondas sonoras em fluídos, são manifestadas todas as propriedades gerais da propagação ondulatória, excetuando-se a polarização (Lima, 2012).

Uma causa primária de atenuação da intensidade das ondas sonoras esféricas e cilíndricas é o aumento da área perpendicular ao feixe acústico emitido por fontes pontuais ou lineares conforme a distância se estende. É relevante destacar a complexidade da atenuação sonora em meios sólidos, atribuída a uma multiplicidade de mecanismos. Tais mecanismos envolvem, entre outros, a geração e transmissão do calor, a dispersão advinda de características anisotrópicas do meio e imperfeições estruturais. Em contextos específicos, são também consideradas as perdas associadas a flutuações magnéticas em substâncias ferromagnéticas, bem como o relaxamento e a migração intersticial atômica (Lima, 2012).

A compreensão desses mecanismos de atenuação é de grande importância para o planejamento e projeto de espaços acusticamente otimizados, bem como para garantir a qualidade do som em uma variedade de contextos, incluindo salas de concerto, estúdios de gravação e ambientes industriais.

Frequência do som

A relação entre a velocidade do som e a frequência é intrincada (Kinsler *et al.*, 2000). A velocidade do som não influencia diretamente a frequência de uma onda sonora, mas modifica o comprimento de onda da onda sonora para uma frequência determinada. Em certas circunstâncias, especialmente quando o meio (como o ar dentro de um tubo de um instrumento musical) está em ressonância com a onda sonora, uma variação na velocidade do som pode resultar em uma alteração na frequência de ressonância. Esta mudança pode afetar a frequência percebida do som.

Para instrumentos de sopro, a variação na velocidade do som devido à temperatura pode ter um efeito discernível na sua afinação. Em temperaturas mais frias, um instrumento pode produzir um som perceptivelmente "mais baixo"

em comparação com ambientes mais quentes. Em condições extremamente frias, esta alteração na afinação pode ser significativamente notável.

A Influência da Velocidade Relativa do Ar na Propagação do Som

O som é uma onda mecânica que necessita de um meio para se propagar, e no caso da audição humana, esse meio é frequentemente o ar. Entretanto, indaga-se o que ocorre quando o ar (meio de propagação) está em movimento? A resposta está na compreensão da velocidade relativa do ar e sua influência direta na percepção sonora.

Imagem 3 – O nível de som depende das diferenças nas velocidades do vento acima do solo e a direção do vento



Fonte: <https://wisconsin.gov/Documents/doing-bus/eng-consultants/cnslt-rsrcs/environment/trafficnoiseweather.pdf>

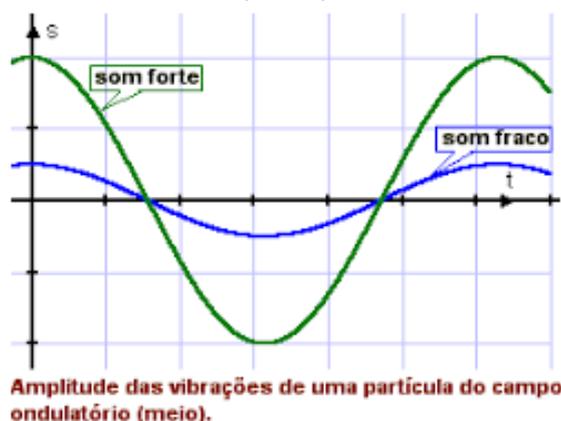
A velocidade do som em um meio é determinada pelas propriedades físicas desse meio. No ar, sob condições padrão, essa velocidade é de aproximadamente 343 metros por segundo. No entanto, quando o ar está em movimento, seja devido ao vento ou ao movimento relativo de um observador (como em um veículo), a velocidade efetiva da onda sonora pode ser alterada (Serway e Jewett Jr., 2014).

Sons provenientes de fontes estacionárias podem ser percebidos de maneira diferente dependendo da direção e da velocidade do vento. Isso ocorre porque a velocidade relativa do ar altera a frequência percebida do som, um fenômeno que é essencialmente uma manifestação acústica do efeito Doppler (Lima, 2012).

O movimento relativo do ar pode afetar a velocidade de controle das ondas sonoras. Quando o ar está em repouso, as ondas sonoras se movem através dele a uma velocidade constante. No entanto, quando há movimento relativo do ar, como o vento soprando, a velocidade das ondas sonoras pode ser aproveitada. Por exemplo, se o vento estiver soprando na direção do som, as ondas sonoras serão impulsionadas e se propagarão mais rapidamente. Por outro lado, se o vento estiver soprando na direção oposta ao som, as ondas sonoras serão retardadas em sua influência.

Além disso, o movimento relativo do ar também pode afetar a intensidade do som. A intensidade do som está relacionada à amplitude das ondas sonoras, ou seja, à altura das cristas e à profundidade dos vales. Quando o ar está em movimento, o movimento relativo do ar pode afetar a pressão interna pelas ondas sonoras. Por exemplo, se houver vento soprando na direção do som, o ar será comprimido e a pressão será maior, provocada em um som mais intenso. Por outro lado, se o vento estiver soprando na direção oposta ao som, o ar será rarefeito e a pressão será menor, causada em um som mais fraco.

Imagem 4 – Amplitude das vibrações de uma partícula do campo ondulatório (meio)



Fonte: https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/2_qualidade_vida_humana/Museu2_qualidade_corpo_sensorial_audicao3.htm

Além disso, o movimento relativo do ar pode influenciar a direção das ondas sonoras. Quando o ar está em movimento, como em um dia ventoso, as ondas sonoras podem ser desviadas de sua trajetória original. Isso significa que a fonte sonora pode parecer estar vindo de uma direção diferente daquela em

que realmente está localizada. Por exemplo, se você estiver ouvindo alguém falar em um local aberto e houver um vento forte soprando, o som da voz pode ser desviado pela direção do vento, fazendo com que você perceba o som vindo de uma direção diferente.

Em resumo, o movimento relativo do ar tem manifestações no comportamento das ondas sonoras. Ele afeta a velocidade de influência, a intensidade do som e até mesmo a direção percebida das fontes sonoras. Compreender essas relações nos ajuda a compreender melhor como o som se comporta em diferentes condições e ambientes, além de ser fundamental para áreas como Acústica, Engenharia e Comunicações.

REFERÊNCIAS

BERG, R. E.; STORK, D. G. **The Physics of Sound**. Prentice-Hall, 1982.

GENG, Z., MAASILTA, I. J. Tunelamento completo de ondas acústicas entre cristais piezoelétricos. **Commun Phys** **6**, 178 (2023). <https://doi.org/10.1038/s42005-023-01293-y>

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentals of Physics**. Wiley, 2018.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J. V. **Fundamentals of Acoustics**. John Wiley & Sons. 2000

KNIGHT, R. D.; JONES, B.; FIELD, S. **College Physics: A Strategic Approach**. Pearson, 2020.

LIMA, J. J. P. de. **Ouvindo, Ondas e Vibrações, Aspecto Físicos e Biofísicos**. Portugal: ed; imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. v. 2, 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2002.

SERWAY, R. A.; JEWETT. JR. J. W. **Princípios de Física**. Trad. Sergio Roberto Lopes. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **University Physics with Modern Physics**. Pearson, 2016.

APÊNDICE H – GUIA EXPERIMENTAL: PROPAGAÇÃO DO SOM

Tema: Propagação do som

Objetivos: - Verificar a dependência da velocidade do som no ar com a temperatura em função do tempo.

- Verificar o problema do movimento relativo quando o som se propaga no ar em movimento

Competências: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BNCC, 2018).

Materiais necessários: - Kit experimental contendo: (anexo A);

- Tubo Sonoro com Arduino e sensores

- Cabo adaptador OTG Fêmea tipo C para celular;

- Smartphone ou Tablet (android);

- Ventilador ou secador de cabelo para simular o movimento do ar.

- Aplicativo disponível em:

[https://drive.google.com/drive/folders/1R9FKs8LKR4nJwzpbSTsrQAegPfei7GZf?usp=sh](https://drive.google.com/drive/folders/1R9FKs8LKR4nJwzpbSTsrQAegPfei7GZf?usp=sharing)

[aring](https://drive.google.com/drive/folders/1R9FKs8LKR4nJwzpbSTsrQAegPfei7GZf?usp=sharing)

Passo a passo da atividade

Experimentação 1: Demonstração da medição da velocidade do som no ar com a temperatura em função do tempo.

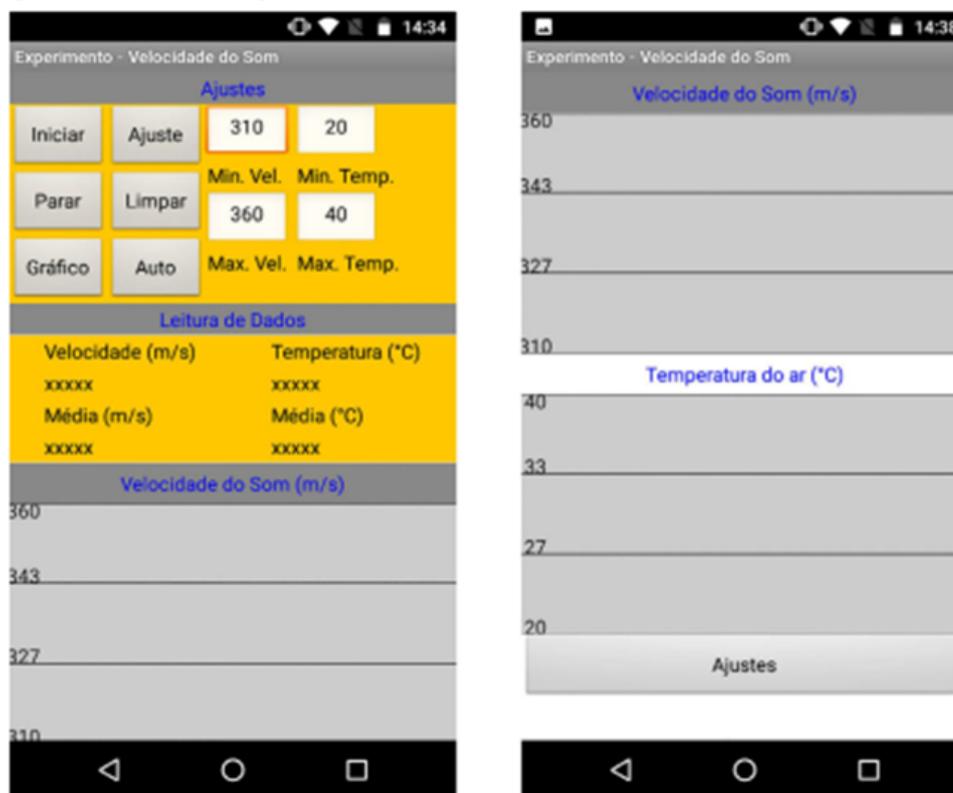
Introdução: Nesta experimentação, vamos analisar a relação entre a temperatura e velocidade do ar e a velocidade do som neste meio.

Orientações ao Professor:

(1) Antes da aula, instale os aplicativos “GRAF ARDUINO” e “USB FAI” em um smartphone ou tablet. Prepare o tubo sonoro (Anexo A) e certifique-se de ter um cabo OTG disponível.

(2) Ao abrir o aplicativo, a imagem que aparecerá será conforme figura 1. (os dados já estão ajustados para velocidade min. 310 e max 360, temperatura min. 20 e max. 40, caso necessário pode ser alterado no aplicativo).

Figura 1: Interface gráfica executada em um dispositivo móvel Android

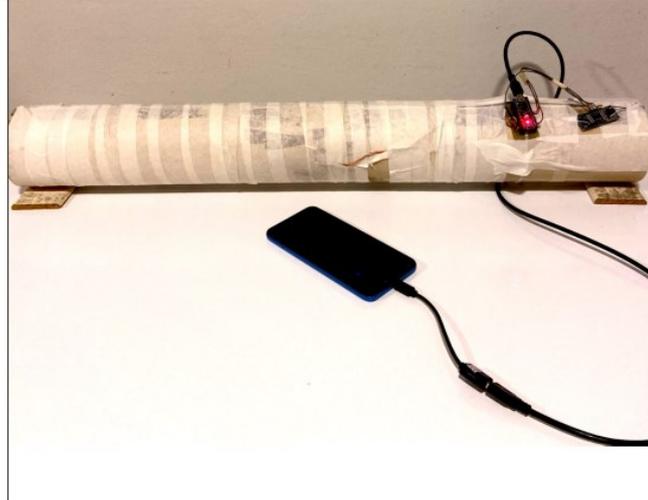


Fonte: acervo dos autores, 2023.

(3) Conecte o smartphone ao tubo sonoro utilizando o cabo OTG (conforme figura 2). O tubo sonoro conectado ao smartphone com a interface gráfica aparecerá conforme figura 3.

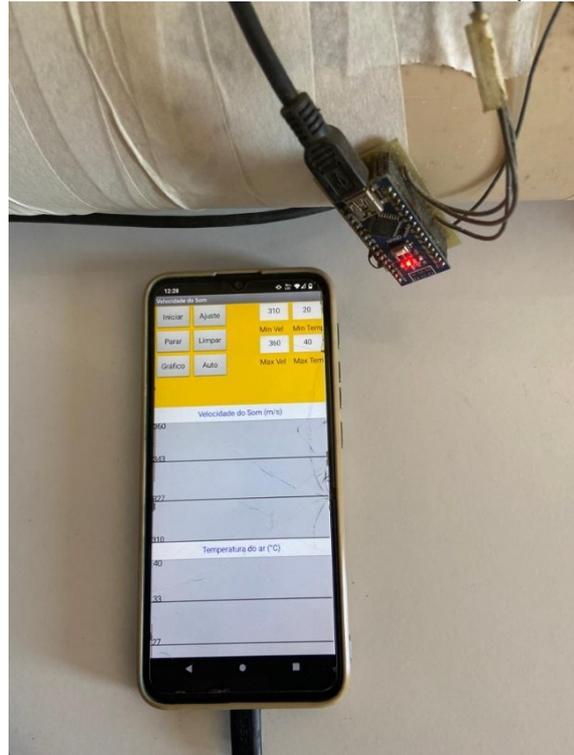
(4) Após concluir as etapas preliminares de preparação anterior, o professor dará início à demonstração da medição da velocidade do som no ar, analisando sua relação com a variação da temperatura ao longo do tempo.

Figura 2 – Tubo sonoro conectado ao smartphone



Fonte: Acervo dos autores (2023)

Figura 3 – Tubo sonoro conectado ao aplicativo,



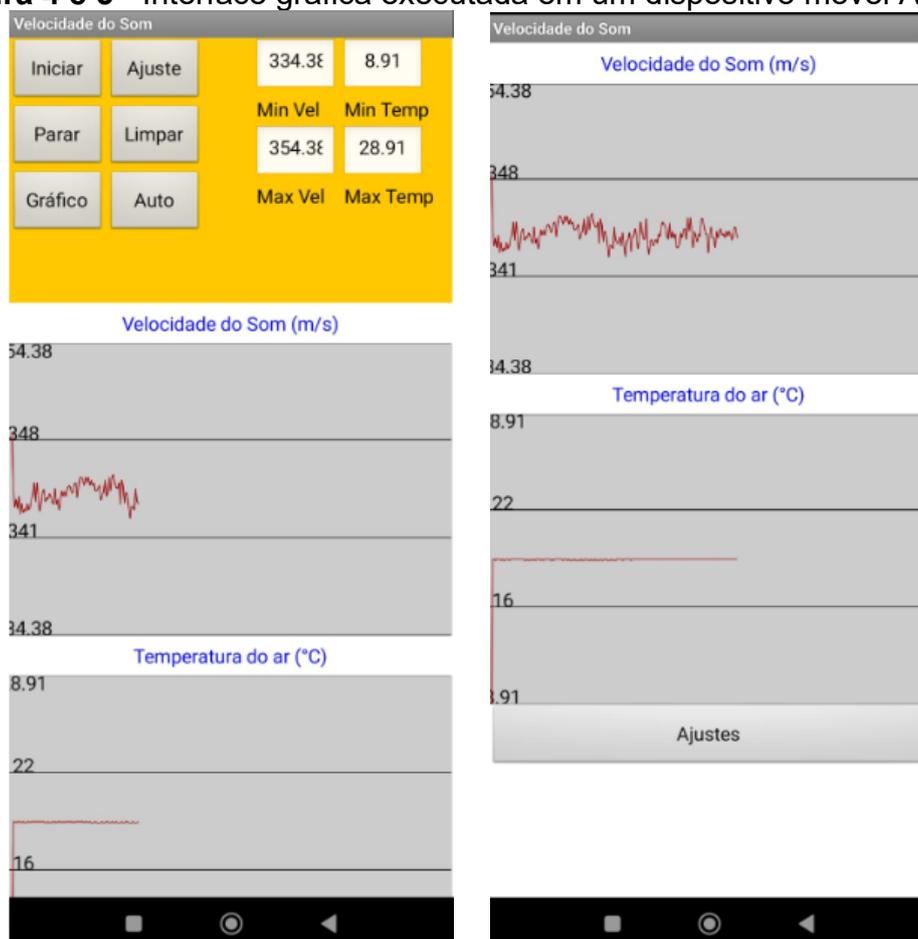
Fonte: Acervo dos autores (2023)

(5) Inicie a demonstração prática explicando brevemente o conceito de ondas sonoras e sua propagação no ar (Apêndice G). Discuta com os alunos sobre como a temperatura pode afetar a velocidade do som no ar, incentivando-os a pensar nas experiências anteriores relacionadas ao som (Apêndice E). Ressalte que a temperatura é um fator importante que afeta a propagação do som, pois ela influencia diversas propriedades do ar, que é um dos meios pelo qual o som se propaga.

(6) Execução do Teste:

(6.1) Realização do Teste à Temperatura Ambiente: Peça aos alunos para observarem enquanto você clica no botão “iniciar” no aplicativo. Eles devem prestar atenção no gráfico gerado em tempo real pelo software. Após a leitura do software, se o gráfico parecer confuso ou não estiver claro, clique na opção “auto” para ajustar a visualização, conforme indicado na Figura 4. Se os alunos estiverem interessados em uma representação diferente, você pode selecionar a opção “gráfico”, e o aplicativo mostrará a imagem conforme a Figura 5.

Figura 4 e 5 - Interface gráfica executada em um dispositivo móvel Android



Fonte: Acervo dos autores, 2023.

Destacam-se, à esquerda, os ajustes manual e automático de escala e, à direita, a representação gráfica da velocidade do som e da temperatura em função do tempo.

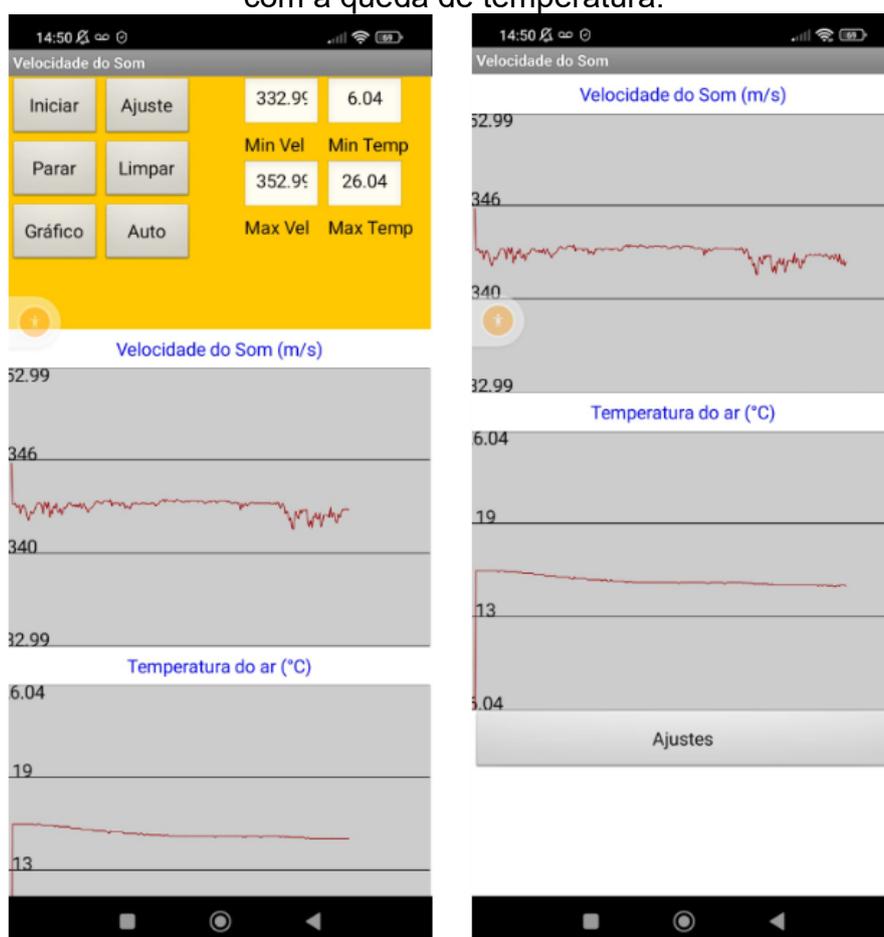
Obs.: O professor deve registrar no quadro/lousa os dados obtidos sobre a variação da velocidade do som em relação à temperatura ambiente, conforme mostrado no aplicativo. Isso permitirá que os alunos anotem os dados experimentais para futuras análises.

(6.2) Execução do Teste em Ambiente Resfriado: Se a sala não contar com um ar-condicionado, você pode usar um secador de cabelo (conforme figura 6) no modo “ar frio” para simular o resfriamento. Para garantir um resfriamento eficaz do ambiente durante a execução do experimento, você pode adotar

medidas adicionais. Uma dessas medidas é envolver o tubo sonoro com pedras de gelo ou *gelox*. Estes materiais ajudam a baixar a temperatura do ar dentro do equipamento. Feche as extremidades do tubo para não haver circulação do ar internamente.

Instrua os alunos a observarem atentamente enquanto você aciona o botão “iniciar” no aplicativo, eles devem focar no gráfico que será gerado em tempo real pelo software conforme figura 7 e 8.

Figura 7 e 8 – Gráfico do Teste em Ambiente Resfriado, a velocidade diminuiu com a queda de temperatura.



Fonte: acervo dos autores (2023)

Obs.: Professor, não esqueça de registrar no quadro/lousa os dados obtidos sobre a variação da velocidade do som em relação à temperatura com ambiente resfriado, conforme mostrado no aplicativo.

(6.3) Realização do Teste em Ambiente Aquecido: Repita o teste anterior, orientando os alunos a se concentrarem enquanto você pressiona o botão “iniciar” no aplicativo. O foco deles deve estar no gráfico (figura 9 e 10) sendo formado em tempo real pelo software. Caso não haja ar-condicionado na sala para elevar a temperatura, uma alternativa é utilizar um secador de cabelo no modo “ar quente” para simular o aquecimento. Feche as extremidades do tubo para não haver circulação do ar internamente.

Figura 9 e 10 - Gráfico do Teste em Ambiente Aquecido, a velocidade aumentou com a elevação de temperatura.



Fonte: acervo dos autores (2023)

Obs.: Registre no quadro/lousa os dados obtidos sobre a variação da velocidade do som em relação à temperatura com ambiente aquecido, conforme mostrado no aplicativo.

(7) Ao concluir os testes, certifique-se de que o quadro/lousa apresenta todos os dados experimentais. Estes dados devem mostrar a variação da velocidade do som conforme a temperatura, a exemplo do quadro a seguir:

Quadro 1 - Variação da velocidade do som conforme a temperatura

	Velocidade do Som (m/s)	Temperatura (°C)
Temperatura Ambiente	343	17
Ambiente Resfriado	341	15
Ambiente Aquecido	354	29

Fonte: acervo dos autores

(8) **Análise e Discussão:** Inicie a discussão a partir dos dados que constam no quadro. Peça aos alunos para compartilhar suas observações. Incentive-os a falar sobre o que observaram, mesmo que não tenham entendido completamente. Com o Quadro 1, claramente visível no quadro/lousa, peça aos alunos para compararem os números. "Vocês perceberam alguma diferença entre quando estava quente, frio e temperatura ambiente?"; "Qual o valor mais alto? E o mais baixo?" Isso ajudará a introduzir a ideia de que a velocidade muda com a temperatura.

Obs.: Para uma abordagem mais quantitativa, é recomendável conduzir o experimento ao longo de intervalos temporais estendidos (abrangendo dias ou até semanas), conforme descrito em “aplicações e discussões” do artigo publicado pelos autores deste produto (disponível no anexo C). Durante esse período, é essencial monitorar tanto a temperatura quanto a velocidade do som, assegurando que o sistema esteja em equilíbrio com as condições ambientais. Essa coleta prolongada de dados permitiria o registro da velocidade do som em variadas temperaturas, possibilitando a elaboração de um gráfico da velocidade v em função da temperatura T .

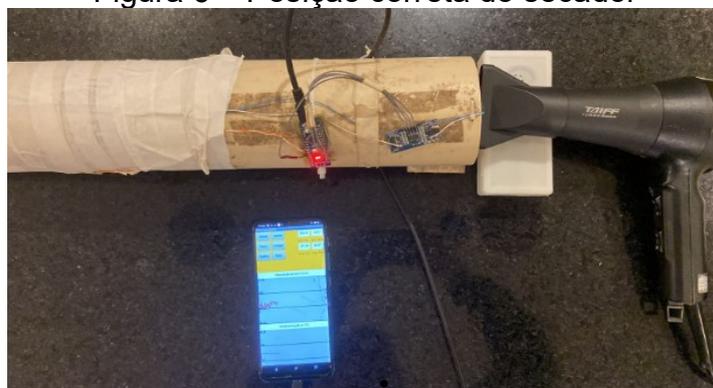
Experimentação 2: Demonstração do problema do movimento relativo quando o som se propaga no ar em movimento

Introdução: Nesta experimentação, vamos simular o movimento relativo do ar usando um secador de cabelo (modo ar frio). O objetivo é analisar a relação entre a propagação do som no ar em movimento (meio), assim como um fenômeno conhecido como o "problema da velocidade relativa".

Orientações ao Professor:

(1) Neste experimento, utilizando o mesmo aparato e os softwares descritos na demonstração anterior, vamos demonstrar o efeito do fluxo do ar na velocidade do som, utilizando um secador de cabelo no modo ar frio. Para isso, você deverá posicionar o secador nas extremidades do tubo sonoro, conforme figura abaixo:

Figura 6 – Posição correta do secador



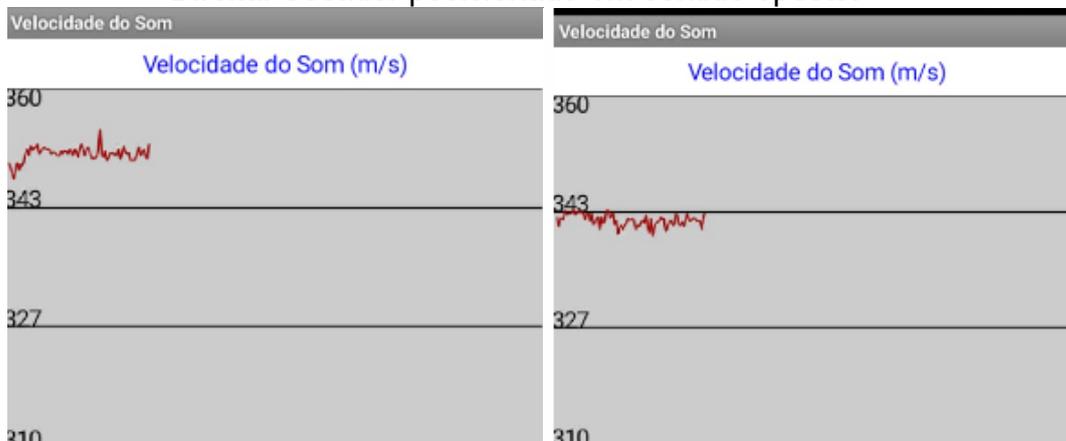
Fonte: acervo dos autores (2023)

(2) Posicione primeiro o secador no transmissor, faça a leitura e depois posicione o secador no receptor, e faça a leitura.

(3) O gráfico à esquerda representa a variação da velocidade do som quando o fluxo de ar é direcionado na extremidade do transmissor, seguindo o sentido natural da propagação do som. O gráfico à direita, por sua vez, ilustra a mudança na velocidade do som quando o fluxo de ar é direcionado na extremidade do receptor, indo contra a direção da extensão do som.

Obs.: Neste caso temos a equação para velocidade do som $v = u + v_{som}$, onde u é a velocidade do ar na direção de propagação do som e v_{som} é a velocidade do som no ar estático. Neste caso, temos u sendo positiva se o som e o ar viajarem no mesmo sentido e negativa se em sentidos opostos.

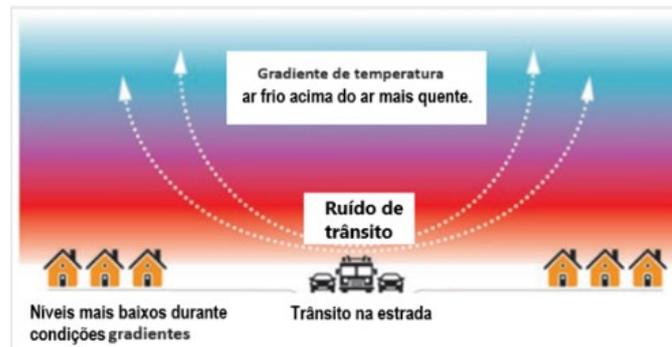
Gráfico 1– Esquerda: Propagação do som com secador no mesmo sentido
Direita: Secador posicionado em sentido oposto.



Fonte: acervo dos autores (2023)

(4) Após a realização dos experimentos, converse com os alunos para identificar as distinções entre os gráficos apresentados. Promova uma discussão detalhada sobre esses gráficos e traga à tona exemplos do cotidiano para facilitar a compreensão. Por exemplo: Se você estiver posicionado na direção onde o ar flui, perceberá o som de forma mais intensa e nítida. Isso ocorre porque o movimento do ar potencializa a transmissão das ondas sonoras até nossos ouvidos. Em contrapartida, ao se posicionar contra o fluxo de ar, o som poderá parecer mais distante e menos claro, uma vez que o deslocamento do ar dispersa essas ondas sonoras. Esse fenômeno pode ser observado em situações simples, como quando um ventilador está ligado. A velocidade e direção do ar são fatores que podem alterar a forma como as ondas sonoras se propagam e, conseqüentemente, a maneira como escutamos os sons ao nosso redor.

Figura 7 – Gradiente de temperatura: ar frio acima do ar mais quente



Fonte: <https://wisconsin.gov/Documents/doing-bus/eng-consultants/cnslt-rsrcs/environment/trafficnoiseweather.pdf>

Figura 8 – Inversão térmica: ar quente acima do ar mais frio



Níveis de som mais altos durante condições de inversão

Trânsito na estrada

Fonte: <https://wisconsin.gov/Documents/doing-bus/eng-consultants/cnslt-rsrcs/environment/trafficnoiseweather.pdf>

APÊNDICE L – TEXTO DE APOIO: SONS INAUDÍVEIS – INFRASSONS E ULTRASSONS

O som é uma parte vital da nossa experiência diária. Mas, você sabia que existem sons que nossos ouvidos não conseguem detectar? Sabia que nossa percepção auditiva está limitada a uma faixa estreita de frequências sonoras? Embora estarmos cientes dos sons que podemos escutar, como música, fala e o canto dos pássaros, existe um universo inteiro de sons não audíveis que raramente prestamos atenção.

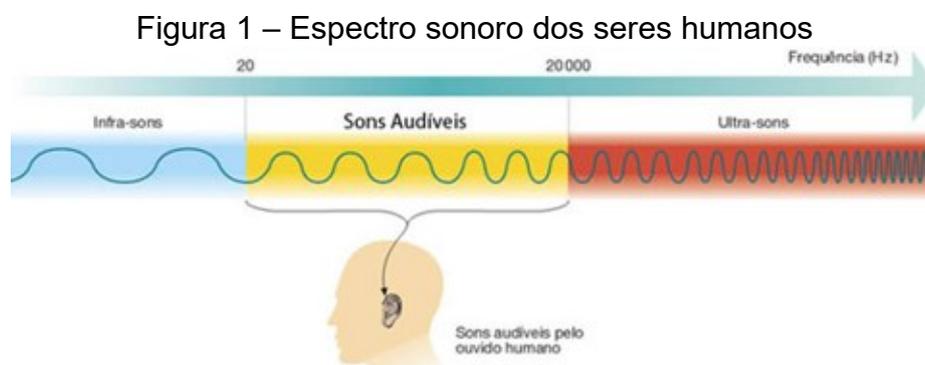
Assim como usamos microscópios para ver coisas muito pequenas e telescópios para observar estrelas distantes, existem tecnologias que nos permitem "ouvir" sons além da nossa capacidade auditiva. Estamos falando do infrassom e ultrassom. Essas frequências sonoras inaudíveis têm aplicações desde a medicina - como o uso de raios-x e o infrassom para tratar células cancerígenas - até comunicações com telefones e ondas de rádio (Dimatteo, 2022).

O universo é repleto de fenômenos que, embora invisíveis ou inaudíveis a nossos sentidos diretos, desempenham papéis cruciais em nossa compreensão da realidade. Exemplo disso, descobertas recentes da NASA afirmam que 95% do universo observável é composto por 'matéria escura' e 'energia escura'. Ou seja, todo o conhecimento que possuímos sobre a matéria convencional na Terra e que foi detectado pelos mais avançados instrumentos abrange menos de 5% do cosmo. Por analogia, mesmo que nossos ouvidos não percebam diretamente frequências como o infrassom o ultrassom, essas ondas sonoras detêm uma importância inestimável.

Os infrassons e ultrassons são frequências sonoras que estão abaixo ou acima da faixa audível do ouvido humano, que geralmente varia de cerca de 20Hz a 20.000Hz. Dentro deste espectro, os ultrassons e infrassons representam extremos que, embora inaudíveis, têm implicações significativas em várias áreas da ciência e tecnologia.

Nossas percepções cotidianas têm suas limitações. Mesmo estando constantemente cercados por fenômenos como calor, gravidade, luz e som, nossa capacidade de percebê-los é restrita a determinadas faixas dessas

manifestações. Para ilustrar, conforme a figura 1, nosso espectro auditivo humano abrange de 20 a 20.000 Hz, representando apenas uma pequena porção das reais frequências sonoras existentes (Dimatteo, 2022).



O ultrassom e o infrassom são categorias de sons que se distinguem dos sons convencionalmente ouvidos pelos seres humanos em três aspectos fundamentais:

- **Frequências Extremas:** tanto o ultrassom quanto o infrassom são, por natureza, frequências que ficam fora da capacidade auditiva humana. Isso significa que são necessários instrumentos específicos para detectá-los. Quando detectados, podem revelar fenômenos comuns em outras espécies, mas desconhecidos para os humanos (Pye; Langbauer Jr., 1988).
- **Comprimento de Onda:** o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência. Assim, o ultrassom tem comprimentos de onda curtos e o infrassom, longos. Essa característica influencia a interação das ondas sonoras com objetos sólidos, por exemplo, o ultrassom pode ser altamente direcional e reflete fortemente em objetos pequenos, enquanto o infrassom não apresenta essas propriedades (Pye; Langbauer Jr., 1988).
- **Absorção e Propagação:** sons de alta frequência, como o ultrassom, são fortemente absorvidos pelo ar, sendo eficazes apenas em distâncias curtas. Por outro lado, o infrassom, de frequência muito baixa, se propaga com mínimas perdas, tornando-o adequado para comunicação à longa distância (Pye; Langbauer Jr., 1988).

Em muitos aspectos a percepção humana é limitada e estamos alheios a uma ampla gama de informações presentes em nosso ambiente, ou seja, assim como não conseguimos ver a luz infravermelha e ultravioleta, também somos incapazes de ouvir ondas infrassônicas e ultrassônicas (Dimatteo, 2022). No entanto, mesmo que não possamos percebê-las diretamente, essas ondas têm efeitos significativos em nossos corpos.

A Agência de Proteção à Saúde do governo do Reino Unido publicou em fevereiro de 2010 um relatório de 196 páginas, concluindo que “o ultrassom é capaz de causar danos permanentes aos tecidos biológicos”, e ainda, que “em níveis elevados de infrassom, podem ocorrer dor auditiva e ruptura do tímpano”, tais conclusões foram obtidas a partir das evidências científicas disponíveis de estudos com humanos, animais e células relacionadas à exposição ao ultrassom e infrassom (*Health Protection Agency*, 2010).

Em 2020, a *BBC News Brasil* noticiou a entrega de um relatório produzido pela Academia Americana de Ciências após investigação encomendada pelo Departamento de Estado americano, sobre a “Síndrome de Havana”. Segundo noticiado, entre 2016 e 2017, funcionários da Embaixada dos EUA na capital cubana começaram a apresentar “um incomum conjunto de sintomas e sinais clínicos”, “o caso começava com o repentino início de um barulho alto acompanhando de dor em um ou nos dois ouvidos, ao redor de uma área ampla da cabeça, e, em alguns casos, sensação de pressão ou vibração na cabeça, tontura, tinido, problemas visuais, vertigem e dificuldades cognitivas”, após uma análise aprofundada dos casos, a Academia Americana de Ciências concluiu que a “energia de radiofrequência direta e pulsada” surge como a explicação mais provável para a enfermidade, ainda que outras possíveis causas não tenham sido totalmente excluídas (*BBC News*, 2020).

O som, assim como qualquer ferramenta, possui a capacidade de beneficiar ou causar danos. Enquanto frequências como infrassom e ultrassom podem gerar danos fisiológicos, seus potenciais terapêuticos também têm sido investigados (Dimatteo, 2022). A título de exemplo, o relatório produzido pela Agência de Proteção à Saúde evidencia que o ultrassom tem sido empregado como uma técnica inovadora no tratamento de solos contaminados, onde o solo poluído é combinado com água e posteriormente exposto ao ultrassom,

resultando na destruição de moléculas poluentes complexas (*Health Protection Agency*, 2010).

Apesar de o infrassom e o ultrassom serem fenômenos naturais, os humanos os empregam de formas que não são comumente observadas na natureza. A disseminação de frequências de alto espectro por meio de ondas de rádio e frequências de baixo espectro oriundas da poluição sonora industrial está afetando negativamente populações humanas, vegetais e animais. Se persistirmos na adoção da tecnologia sônica sem levar em conta como essas frequências interagem com a fisiologia humana e os mecanismos de comunicação de outras espécies, corremos o risco de deslocá-las e infligir danos abrangentes tanto ao nosso ambiente interno quanto ao externo (Dimatteo, 2022).

Na sequência deste texto, vamos aprofundar nossos estudos sobre o infrassom e o ultrassom, explorando com maior detalhe suas características intrínsecas e manifestações, além disso, nas diversas aplicações destas frequências sonoras, desde suas utilizações em contextos médicos e industriais até as implicações ambientais e biológicas.

Infrassom: o mundo das baixas frequências

O infrassom, como relatado anteriormente, refere-se às ondas sonoras que possuem frequências abaixo da faixa audível para o ouvido humano, especificamente aquelas com frequências inferiores a 20 Hz. Embora não sejamos capazes de "ouvir" o infrassom da maneira tradicional, estas ondas de baixa frequência pode ser sentidas e, em alguns casos, podem até mesmo causar sensações físicas ou efeitos psicológicos.

Originado de diversas fontes naturais e artificiais, o infrassom pode ser produzido por fenômenos naturais como terremotos, avalanches, tempestades e até mesmo o próprio oceano. Em contextos artificiais, grandes máquinas, explosões, turbinas eólicas e até mesmo certos veículos de transporte podem gerar infrassom (Lima, 2012).

Na imagem abaixo o infrassom é destacado em contextos tanto naturais quanto tecnológicos. Na ilustração à esquerda, a ênfase recai sobre as baleias,

mamíferos que empregam frequências infrassônicas para comunicação em vastas distâncias. Já na ilustração à direita, o foco são as turbinas eólicas, associadas à produção de energia sustentável, mas que, contudo, emitem ruídos de baixa frequência.

Imagem 1 – Fontes naturais e artificiais de infrassom



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-infrasom-ultrasom.htm>

Uma característica notável do infrassom é sua habilidade de se propagar por vastas distâncias, sofrendo mínima atenuação. Isso permite que ele se desloque por milhares de quilômetros mantendo grande parte de sua energia inicial. Essa característica é atribuída aos baixos coeficientes de absorção que os infrassons têm nos meios em que se propagam, especialmente no ar. Uma demonstração histórica dessa capacidade foi a explosão do vulcão Krakatoa em 1883, que gerou ondas infrassônicas capazes de estilhaçar janelas a 1.600 km de distância. Ademais, explosivos, como as armas atômicas, geram uma onda infrassônica destrutiva com baixa pressão atmosférica que se propaga extensamente (Lima, 2012).

Figura 2 – Comparação do comportamento das ondas sonoras de acordo com a frequência e amplitude.



Embora não sejam audíveis, os infrassons têm diversas aplicações práticas e são objeto de estudos em vários campos. Naturalmente, são gerados por fenômenos como vulcões, tornados, terremotos e avalanches, sendo essenciais para pesquisas e monitoramentos desses eventos (Dimatteo, 2022). Na área médica, são utilizados em tratamentos específicos, particularmente na terapia por ondas de choque, visando tratar condições musculoesqueléticas (*Health Protection Agency*, 2010). Além disso, certos animais, como elefantes e baleias, empregam infrassons para se comunicar, mesmo em grandes distâncias, fornecendo informações valiosas sobre seu comportamento e ecologia (Lima, 2012).

Ainda, estrategicamente, os infrassons foram explorados em contextos militares como potenciais ferramentas não letais de desorientação (Dimatteo, 2022). No setor de energia, as turbinas eólicas, conhecidas por sua produção sustentável, emitem infrassons, e o monitoramento dessas emissões é crucial para avaliar o desempenho das turbinas (Doolan, 2015). E por fim, estudos psicológicos têm investigado o impacto dos infrassons no comportamento humano, considerando relatos de sensações atípicas ou até experiências que se

assemelham ao paranormal, quando expostos a essas frequências (Parsons, 2012).

Embora os infrassons tenham várias aplicações úteis, também existem preocupações sobre seus potenciais efeitos adversos na saúde humana, especialmente quando as pessoas estão expostas a níveis elevados por períodos prolongados. Por isso, continua sendo uma área ativa de pesquisa e desenvolvimento.

No contexto da saúde e do bem-estar, podemos destacar a importância de analisar os efeitos das vibrações de baixa frequência. Para essa análise, são frequentemente levados em consideração aspectos como a aceleração das partículas, medida em m/s^2 , e o tempo de exposição à vibração, geralmente expresso em horas ou dias. Nota-se que as vibrações que afetam à área total do corpo ou a uma grande parte dela, como no caso de campos infrassônicos no ar, possuem características que facilitam a identificação de relações causa-efeito, tanto em aspectos qualitativos quanto quantitativos (Lima, 2012).

Dependendo da intensidade, duração, área e tipo de exposição, os efeitos das vibrações mecânicas de baixa frequência em seres humanos, vão desde irritações leves a graves lesões, incluindo “batimentos cardíacos irregulares, distúrbios do sono, dores de cabeça, zumbidos, náuseas, vertigem, visão turva, dor, calafrios, ataques de pânico. Irritabilidade geral, ansiedade, epilepsia e a doença vibroacústica (DVA)” (Lima, 2012).

A Agência de Proteção à Saúde do Reino Unido, no relatório divulgado em fevereiro de 2010, ao analisar os efeitos potenciais do infrassom, em razão dos poucos estudos publicados (e pela limitação e qualidade questionável) concluiu que em geral, não há evidências consistentes de que a exposição aguda ao infrassom, nos níveis comumente encontrados no ambiente, cause efeitos fisiológicos ou comportamentais significativos. No entanto, há indicações de que o infrassom acima do limiar auditivo e em exposições muito intensas pode causar dor e danos auditivos (*Health Protection Agency*, 2010).

Em síntese, os infrassons, ondas sonoras de baixa frequência, desempenham um papel significativo em diversos domínios, desde a natureza até contextos tecnológicos. Contudo, a influência destas frequências no bem-estar humano é uma área ainda em investigação, especialmente considerando

os potenciais efeitos adversos na saúde. A investigação contínua sobre o infrassom é crucial, pois, apesar de suas múltiplas aplicações e benefícios, é essencial entender e mitigar os possíveis riscos associados à sua exposição prolongada

Ultrassons: explorando a alta frequência

O ultrassom refere-se às ondas sonoras que possuem frequências acima da faixa audível para o ouvido humano, especificamente aquelas com frequências superiores a 20.000 Hz. Embora nosso ouvido não seja capaz de detectar essas ondas de alta frequência de forma consciente, elas têm aplicações cruciais em diversas áreas da ciência e da tecnologia.

Produzido por fontes tanto naturais quanto artificiais, os ultrassons podem ser gerados, conforme estudos, por animais como golfinhos, que utilizam a ecolocalização para navegar e caçar. No contexto artificial, os ultrassons são gerados por dispositivos eletrônicos, equipamentos médicos e até mesmo por alguns motores de alta velocidade.

Imagem 2 – Fonte natural de ultrassom



Fonte: Ricardo Amboni. Disponível em: <https://nautica.com.br/bale-dos-botos-em-laguna-impressiona-o-publico-pela-inteligencia-dos-animais/>

Imagem 3 - Fonte artificial de ultrassom



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ultrassons-suas-aplicacoes.htm>

Nas imagens acima, representa-se as ondas ultrassônicas em contextos variados. Na primeira, têm-se os golfinhos, criaturas marítimas que utilizam ultrassons para ecolocalização e comunicação. Na segunda, destaca-se o uso de ultrassons em equipamentos médicos, como os aparelhos de ultrassonografia, essenciais para visualizações internas do corpo humano, como a observação de fetos durante a gravidez, sem a necessidade de intervenções invasivas.

De acordo com a *Health Protection Agency (2010)*, a transmissão de ultrassom no ar apresenta desafios significativos, sobretudo em distâncias mais amplas, o que culmina em uma quantidade limitada de suas aplicações nesse meio. Por contraste, sua eficácia torna-se mais evidente em meios condensados, como sólidos, líquidos - com destaque para a água - e tecidos biológicos, incluindo materiais com propriedades similares a estes. Em relação a esta eficácia em meios densos, uma característica intrínseca das ondas ultrassônicas é sua habilidade de gerar imagens precisas em distâncias curtas, devido à sua direcionalidade aguçada.

Tal capacidade permite que essas ondas penetrem com eficiência em tecidos e líquidos, refletindo-se e possibilitando a captação e conversão em imagens de alta definição. Esta peculiaridade é atribuída à elevada frequência do ultrassom, que confere uma resolução superior, especialmente em meios líquidos e tecidos moles. Uma manifestação prática dessa competência é observada na ultrassonografia médica, instrumento valioso para profissionais da saúde na observação de órgãos internos, fluxos sanguíneos e, inclusive, fetos em estágios gestacionais dentro do útero (Lima, 2012)

Segundo a *Health Protection Agency* (2010), o ultrassom tem experimentado uma ampliação significativa em suas aplicações no âmbito médico. Tais aplicações podem ser categorizadas em diagnósticas e terapêuticas ou cirúrgicas. Diversos fatores têm incentivado a adoção crescente do ultrassom na medicina, entre eles, destaca-se o custo reduzido dos equipamentos e a percepção da técnica como essencialmente inofensiva, tendo um histórico notório de segurança.

No âmbito das aplicações terapêuticas do ultrassom, a intensidade do campo ultrassônico administrado é calibrada para promover alterações específicas, sejam elas físicas, químicas ou biológicas, no tecido subjacente. Dentro desta perspectiva, o termo "força" é adotado para elucidar parâmetros intrínsecos à exposição ultrassônica, incluindo, mas não se limitando a, a potência ultrassônica aplicada, a intensidade média temporal no pico espacial e a respectiva pressão acústica imposta ao tecido (*Health Protection Agency*, 2010).

Além de suas aplicações na medicina, o ultrassom é amplamente usado na indústria. Com o crescimento das indústrias de petróleo e mineração, a demanda por sistemas de monitoramento de integridade estrutural tem aumentado, por isso, a técnica de ultrassom tem sido refinada e é frequentemente empregada na inspeção de produtos, desde a produção até as fases de manutenção, para verificação da integridade estrutural ao longo de todo o ciclo de vida de um componente (Morais *et al.*, 2017).

O estudo da *Health Protection Agency* (2010), ainda destaca que o ultrassom tem outras diversas aplicações industriais, uma das principais é na purificação da água, onde o ultrassom inativa bactérias e desfaz aglomerados delas, usando um processo chamado cavitação acústica. Destaca-se ainda que o ultrassom é eficaz na limpeza do ar, aglomerando partículas finas suspensas, como as emitidas por veículos a diesel ou indústrias químicas; também é usado no tratamento de solos contaminados; no tratamento de lodo de esgoto, tornando compostos orgânicos dissolvidos mais acessíveis para digestão anaeróbica; e na cristalização, ajudando a controlar o crescimento de cristais em preparações farmacêuticas.

Além das aplicações nas áreas da medicina e da indústria, o ultrassom, devido aos seus efeitos como a cavitação acústica, tem várias aplicações domésticas. Algumas delas incluem máquinas de lavar louça ultrassônicas e outros sistemas de limpeza. Também existem aplicações de ultrassom no ar, como em sensores de estacionamento de carros, aspiradores de pó robóticos que usam ultrassom para navegar e dispositivos que emitem ultrassom para afastar animais, como gatos ou roedores.

Diversos estudos têm explorado a segurança e eficácia do ultrassom em diferentes aplicações. Em contextos de saúde, a análise detalhada dos efeitos do ultrassom no corpo humano é essencial para garantir procedimentos seguros e eficazes (Lima, 2012). A Agência de Proteção à Saúde do Reino Unido, em pesquisas relacionadas ao ultrassom, destaca sua segurança quando utilizado corretamente, mas reforça a necessidade de treinamento adequado e manutenção dos equipamentos para evitar exposições desnecessárias ou prejudiciais (*Health Protection Agency, 2010*).



CURIOSIDADE!

Você sabia que os botos pescadores de Laguna utilizam a ecolocalização?

De acordo com Langley (2021), a ecolocalização é o "sonar" natural que alguns animais possuem. Funciona quando o animal emite um som e, ao refletir em um objeto e retornar como eco, informa sobre a distância e tamanho desse objeto. Espécies como a maioria dos morcegos, todos os odontocetos e certos pequenos mamíferos usam a ecolocalização. Isso é especialmente útil para aqueles que vivem em ambientes escuros ou com pouca luz, ajudando-os a encontrar comida. Eles têm diferentes maneiras de ecolocalizar, seja vibrando a garganta ou batendo as asas.

Em Laguna (SC), golfinhos e pescadores desenvolvem criativas formas de pescar juntos. González de Castells e Iino (2015) nos contam que a tradição da pesca em Laguna não é algo recente, ela vem desde os tempos em que os indígenas Carijós viviam na região. Laguna é quase como uma ilha, rodeada de água por todos os lados. De um lado, temos o imenso oceano Atlântico e,

do outro, belas lagoas como Imaruí, Mirim e Santo Antônio dos Anjos. Juntas, elas formam o que chamamos de Complexo Lagunar! Ainda, temos o Rio Tubarão, que traz suas águas até aqui, e um canal que conecta esse complexo ao mar. Com tanta água ao redor, não é surpresa que a pesca seja uma atividade tão importante por aqui.

Desde 2017, o projeto "A paisagem Sonora da Pesca cooperativa em Laguna", resultado da colaboração entre o Instituto Boto Flipper e o Laboratório de Acústica e Meio Ambiente (Lacmam) da USP, tem se dedicado ao monitoramento subaquático do som, utilizando hidrofones. O objetivo é entender melhor a forma como os botos da região (*Tursiops truncatus gephyreus*) se comunicam. De acordo com Rezende (2022), algumas dessas monitorizações captaram comunicações bioacústicas dos botos em frequências que variam de 24 kHz a 48kHz, evidenciando a presença de comunicação ultrassônica entre esses animais.

A intrincada interação entre os fenômenos sonoros subaquáticos, o processo de ecolocalização e as tradições pesqueiras de Laguna evidenciam a profunda interdependência entre seres humanos e a fauna aquática. A análise dos sons propagados nas profundezas aquáticas, apesar de ser uma área de estudo ainda em expansão, é fundamental para elucidar os comportamentos dos botos pescadores, e por extensão, para a formulação de abordagens conservacionistas mais eficazes.

REFERÊNCIAS

BBC NEWS BRASIL. **'Síndrome de Havana'**: as misteriosas micro-ondas que podem ter adoecido diplomatas americanos em Cuba. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-55206490>. Acesso em: 01 out. 2023.

DIMATTEO, A. **Experiencing the Unseen: Tangible Impacts of Infrasound and Ultrasound**. 2022. Disponível em: <https://hii-mag.com/article/experiencing-the-unseen-tangible-impacts-of-infrasound-and-ultrasound>. Acesso em: 02 out. 2023

DOOLAN, Con. The real science on wind farms, noise, infrasound and health". **The Conversation**, jun, 2015. Disponível em: <https://theconversation.com/the->

real-science-on-wind-farms-noise-infrasound-and-health-43112. Acesso em: 02 out. 2023

GONZÁLEZ DE CASTELLS, A. N.; LINON, F. S de A. **Educar, Documentar e Valorizar para Preservar**: pesca artesanal com auxílio dos botos em Laguna. 1. ed. Laguna: Ed. do autor, 2015.

HEALTH PROTECTION AGENCY. **Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound**: Report of the independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. Radiation, Chemical and Environmental Hazards, fev. 2010. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7dfba8ed915d74e33ef48e/RC-E-14_for_web_with_security.pdf. Acesso em: 06 jun. 2023

LANGLEY, L. Veja como funciona a ecolocalização - o sonar inerente da natureza. **National Geographic Brasil**, 10 fev. 2021. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/animais/2021/02/veja-como-funciona-a-ecolocalizacao-o-sonar-inerente-da-natureza>. Acesso em: 03 out. 2023

LIMA, J. J. P. de. **Ouvido, Ondas e Vibrações, Aspecto físicos e biofísicos**. Portugal: ed; imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

MORAIS, D. et al, Ondas Ultrassônicas: teoria e aplicações industriais em ensaios não-destrutivos, **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 4, n.1, p. 16-33, mai./ jun. 2017.

PARSONS, Steven T. Infrasound and the paranormal. **Journal of the Society for Psychological Research**, v. 76.3, n. 908, p. 150, jul. 2012.

PYE, J.D.; LANGBAUER, W.R. Ultrasound and Infrasound. In: Hopp, S.L., Owren, M.J., Evans, C.S. (eds) **Animal Acoustic Communication**. Springer: Berlin, 1988

RESENDE, M. d. S. **Análise dos assobios de *Tursiops truncatus gephyreus* em Laguna/SC**: em busca de assobios assinatura. 2022. 39 f. TCC. (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

APÊNDICE J – TESTE DE FREQUÊNCIA: EXPLORANDO O ESPECTRO AUDITIVO HUMANO

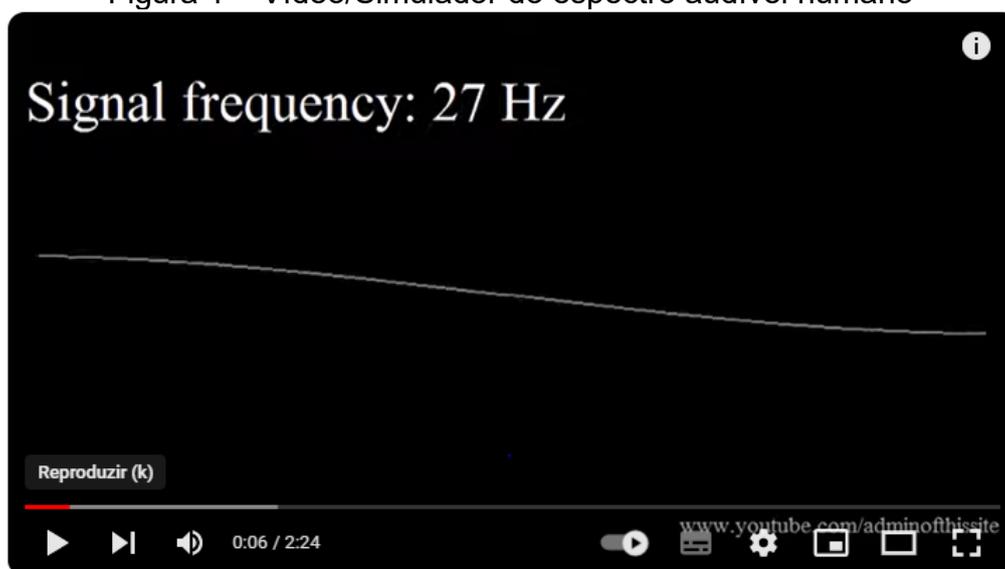
Objetivo: Esta aula irá avaliar a capacidade dos estudantes em aplicar conceitos teóricos aprendidos sobre infrassons e ultrassons (sons não audíveis), por meio da realização de um teste prático para medir e distinguir as frequências dos sons inaudíveis, utilizando o limiar da frequência auditiva humana, proporcionando uma compreensão mais profunda das propriedades dessas ondas sonoras.

Roteiro da aplicação

(1) Acessem o link para o vídeo/simulador de frequência:
<https://www.youtube.com/watch?v=Bi4xcT2nwrQ>.

(2) Para uma experiência eficaz, conecte um fone de ouvido ao computador. Cada aluno, de forma individual, realizará seu teste. (Recomenda-se o uso de uma sala informatizada para essa atividade).

Figura 1 – Vídeo/Simulador do espectro audível humano



Espectro audível do ser humano: 20hz a 20khz

Fonte: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Bi4xcT2nwrQ>

(3) Utilizando o simulador, que apresenta uma variação de frequência de 20 Hz a 20.000 Hz, cada aluno, de forma individual, escutará e observará,

anotando a frequência na qual o som se torna audível e quando se torna inaudível. O professor fornecerá as orientações específicas para que todos registrem suas observações de maneira padronizada.

(4) Após o teste com o simulador de frequência, no qual cada aluno identificou individualmente o momento em que o som se tornou audível e, em seguida, inaudível, proponha a classe uma reflexão coletiva. Neste momento, os estudantes poderão compartilhar suas experiências e descobertas, evidenciando a diversidade da sensibilidade auditiva humana. Para aprofundar essa discussão, o professor deverá transcrever no quadro/lousa o seguinte texto:

Vocês já se perguntaram se todos os animais percebem os sons da mesma forma que nós?

Enquanto nós, seres humanos, e muitos outros mamíferos, conseguimos detectar sons em um espectro que varia aproximadamente de 20 Hz a 20.000 Hz, existem animais, como morcegos e golfinhos, que são sensíveis a ultrasons, frequências que superam essa capacidade humana. Essa aptidão permite a eles, por exemplo, navegar e se alimentar em total escuridão. E não é apenas entre diferentes espécies que notamos variações. Até mesmo entre seres humanos, como vocês puderam perceber no teste, a audição pode variar. As variações na percepção sonora, tanto entre humanos quanto animais, podem ser influenciadas por uma série de fatores, incluindo adaptações evolutivas, características individuais e exposições ambientais ao longo da vida. Ao compreendermos essa diversidade na percepção auditiva, ampliamos nosso respeito e apreciação não apenas pela nossa capacidade de ouvir, mas também pela singularidade de como cada indivíduo interpreta o universo sonoro!

À medida que as pessoas envelhecem, é comum que experimentem uma diminuição na capacidade de perceber frequências mais altas.

Esse fenômeno é conhecido como presbiacusia, e sua ocorrência é resultado de uma série de fatores que afetam o sistema auditivo ao longo do tempo.

Além disso, as doenças auditivas também podem contribuir para a limitação da audição, agravando ainda mais esse problema. A presbiacusia, ou perda auditiva relacionada à idade, é uma condição comum que afeta a maioria das pessoas à medida que envelhecem. Ela ocorre devido a diversas alterações fisiológicas no ouvido interno e no sistema auditivo. Uma das principais causas dessa perda de audição é o dano progressivo às células ciliadas, que são responsáveis por detectar e transmitir as vibrações sonoras para o cérebro. Com o tempo, essas células ciliadas podem se deteriorar, tornando mais difícil perceber sons de alta frequência, como os de sirenes, assobios agudos ou o canto de aves. Além da presbiacusia, as doenças auditivas como infecções no ouvido, exposição prolongada a ruídos altos também pode ter um impacto significativo na capacidade de uma pessoa perceber frequências mais altas.

(5) Com essa base, o professor pode conduzir a turma a relacionar o conteúdo dos textos com os resultados do teste simulado, incentivando uma troca de experiências e compreensões sobre a variedade da audição.

APÊNDICE K – ROTEIRO EXPERIMENTAL: EXPLORANDO OS INFRASONS E ULTRASSONS

Tema: Sons não audíveis, captando infrassons e ultrassons.

Objetivos: - Captar ondas sonoras de infrassons e ultrassons, frequências não perceptíveis aos ouvidos humanos

- Fortalecer habilidades de pesquisa e experimentação.
- Despertar a curiosidade quanto aos sons não audíveis.
- Corroborar através de softwares, que mesmo o som não possa ser detectado pelos ouvidos humanos, eles propagam-se no meio através de ondas mecânicas.

Competências: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BNCC, 2018).

Orientação ao professor: Neste momento, você conduzirá testes qualitativos para demonstrar sons não audíveis. É essencial que você execute os testes propostos, enquanto os alunos interagem fazendo perguntas relacionadas ao tema. Incentive-os a usar o texto de apoio para fundamentar teoricamente suas questões e reflexões.

Teste 1: Captando infrassons

(1) Acesse o link:

https://www.iz3mez.it/software/SDRSharp/SDRSharp_v1700.zip

e faça o download do programa SDR Sharp.

(2) Após o download, descompacte o arquivo em uma pasta de sua escolha e clique no arquivo “SDRSharp.exe” para executá-lo.

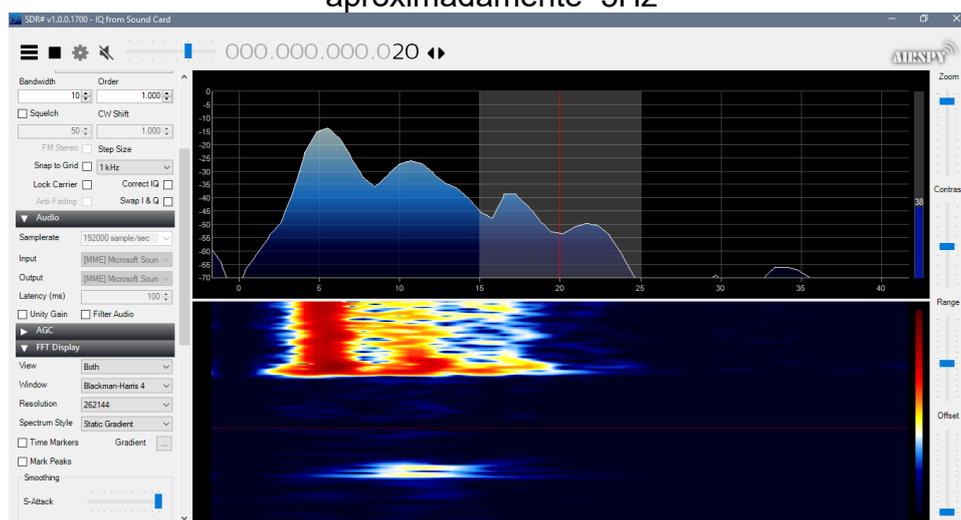
(3) Uma vez aberto o programa, localize o guia "Source" à esquerda e selecione a opção “IQ from Soundcard”.

(4) Em seguida, no guia "Audio", defina o “Input” para o “[MME] Mapeador de som da Microsoft – input” e clique no botão Play, localizado na parte superior. É necessário que o computador tenha um microfone interno ou externo.

(5) À direita dos gráficos aparecem botões de *Zoom*, *Contrast*, *Range* e *Offset*. Ajustá-los para selecionar frequências de 0 a 30 ou 40 Hz.

Obs.: Para verificar se está funcionando corretamente, com a porta da sala quase fechada, oscile abrindo e fechando (com ela quase fechada) e verifique se algo aparece no gráfico.

Figura 1 – Movimento suave de abre e fecha da porta em uma frequência de aproximadamente 5Hz

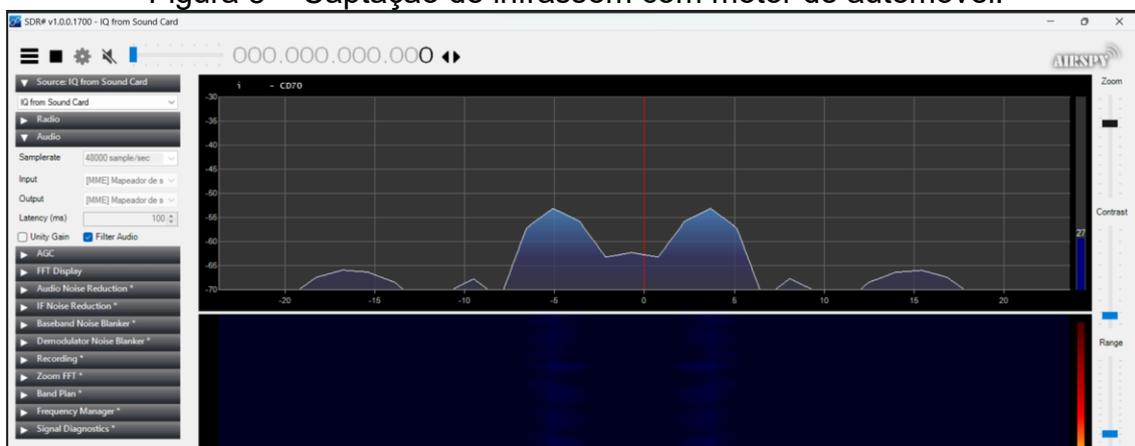


Fonte: acervo dos autores (2023)

(7) Com a porta quase totalmente fechada, segure a maçaneta e faça o experimento oscilando a porta (movimento de abre e fecha) em uma frequência de aproximadamente 5 vezes por segundo. Verifique o aparecimento de um máximo no espectro nesta mesma frequência (figura 1).

(6) Outra opção de teste, é captar infrassons de ar-condicionado ou motor de automóvel, colocando o computador com o simulador próximo ao mesmo para verificar os dados capturados pelo software.

Figura 5 – Captação de infrassom com motor de automóvel.



Fonte: acervo dos autores (2023)

(7) Finalize o teste e apresente o vídeo (habilitar legenda em português), disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PStrR6Xpldo>

Teste 2: Captando ultrassons

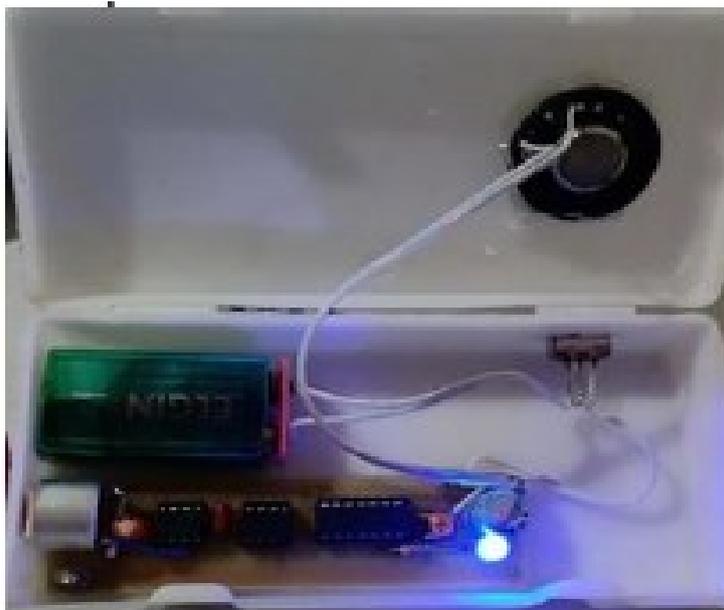
(1) Nesta atividade experimental, faremos uso do detector de frequências ultrassônicas, conforme detalhado no Anexo B. Acesse o link:

https://youtu.be/_m7YnwuqPe4

para verificar o comportamento do detector.

A figura a seguir apresenta uma visão detalhada dos componentes internos desse detector:

Figura 6 - Detetor de ultrassons para monitorar fontes de ultrassom no ambiente

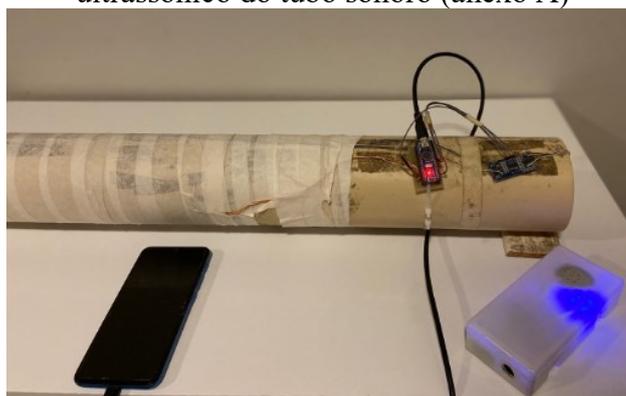


Fonte: acervo dos autores (2023)

(2) Ligue o detector.

(3) No primeiro teste a ser aplicado, vamos utilizar o tubo de sonoro (anexo A), Ele utiliza um sensor ultrassônico HC – SR04, que emite sons em 40 kHz. Apontando o detector para a extremidade do tubo temos um sinal demonstrando a captura da onda ultrassônica gerada do sensor com o detector (anexo B), comprovando assim que não ouvimos esta frequência, porém ela está presente no ambiente, emitindo uma frequência que nossos ouvidos não escutam. O detector emite um som de $40/16 = 2,5$ kHz e acende o LED. Use o SDR Sharp e verifique se é esta frequência que aparece.

Figura 7 - Detector (anexo B) captando onda sonora ultrassônica gerado por sensor ultrassônico do tubo sonoro (anexo A)



Fonte: acervo dos autores (2023).

(4) Para auxiliar na compreensão e visualização prática do experimento proposto, recomendamos a visualização do vídeo disponível no link a seguir. Este material proporciona uma visão detalhada do procedimento, facilitando o entendimento e a replicação do experimento. Acesse o vídeo pelo link: https://youtu.be/_m7YnwuqPe4.

(5) Além do teste inicial, realizamos uma investigação adicional para determinar a distância máxima na qual o detector consegue captar a onda ultrassônica do tubo sonoro. Em nossos experimentos, observamos que o detector é capaz de identificar sinais ultrassônicos a uma distância média de 3 metros da fonte emissora.

(6) Para concluir e enriquecer ainda mais a nossa discussão sobre ultrassom, apresente um vídeo que ilustra como cientistas e médicos se inspiraram nas habilidades de ultrassom dos morcegos para desenvolver o SONAR e procedimentos médicos não invasivos. Antes de assistir, certifique-se de ativar as legendas em português para melhor compreensão. Acesse o vídeo pelo seguinte link:

<https://www.youtube.com/watch?v=4JLNb8-LOB0>.

APÊNDICE L – TEXTO DE APOIO: ANATOMIA E FISIOLOGIA DO SISTEMA AUDITIVO

Bioacústica

A Bioacústica é o campo científico que investiga o funcionamento do sistema auditivo em mamíferos, incluindo os humanos. Essa área se concentra na maneira como percebemos as sensações auditivas geradas por estímulos sonoros. Estes estímulos, que fisicamente se manifestam como ondas mecânicas, interagem com células ciliadas no sistema auditivo. Essas células, por sua vez, transformam os estímulos mecânicos em potenciais de ação neural (Dúran, 2003).

Figura 1 – aspectos relacionados com a produção e detecção sonora dos sinais acústicos, e com o meio pelo qual se propagam



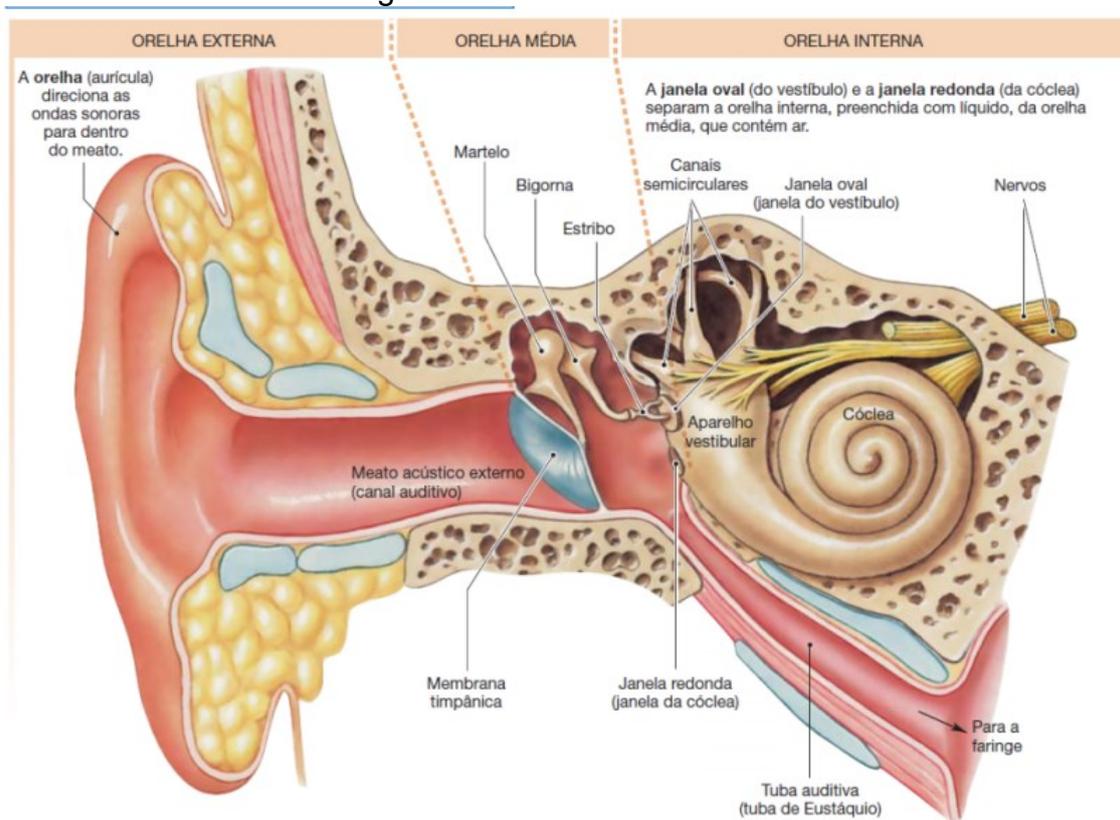
Fonte: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3482359/mod_resource/content/0/Bioac%C3%BAstica%20e%20Audi%C3%A7%C3%A3o.pdf

A audição, um dos cinco sentidos humanos, é um processo complexo que envolve múltiplos eventos sequenciais. Para que possamos escutar, o som precisa se propagar em determinado meio até alcançar nosso sistema auditivo. Uma vez captado, nosso aparelho auditivo processa as características do som, como frequência, amplitude, timbre e origem da fonte sonora, e as transmite ao nervo auditivo. Este, por sua vez, conduz as informações através das células auditivas até o córtex cerebral, onde os impulsos elétricos são interpretados. Esse conjunto de etapas define o mecanismo da audição (Vasconcelos e Garcia, 2009).

O ouvido humano

O ouvido desempenha o papel fundamental de transformar ondas mecânicas sutis presentes no ar em estímulos nervosos. O ouvido é constituído de três partes: o ouvido externo, compreendendo a orelha e o canal auditivo; o ouvido médio, que abriga um conjunto de três ossículos, nomeadamente o martelo, a bigorna e o estribo; e, finalmente, o ouvido interno, onde se localiza a cóclea preenchida por fluídos. É precisamente na cóclea que o som é transmutado em impulsos elétricos (Okuno, Caldas e Chow, 1982).

Figura 2 – Anatomia do ouvido



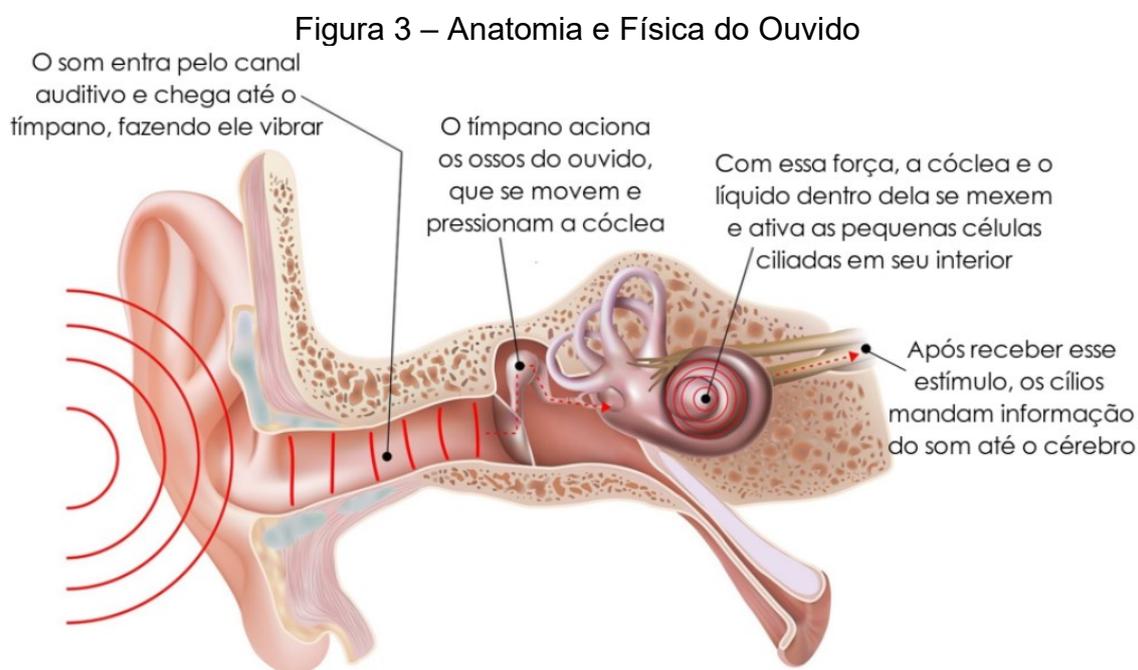
Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7869768/mod_resource/content/1/Ouvido%20humano-%20Anatomia%2C%20doen%C3%A7as%20e%20tecnologia.pdf

Embora a orelha desempenhe um papel na audição, ela não é o componente mais crucial. Sua função principal é direcionar as ondas sonoras para o canal auditivo. Este canal, com aproximadamente 2,5 cm de extensão, assemelha-se a um tubo com uma extremidade aberta e a outra fechada pela

membrana timpânica. Esta membrana distingue o ouvido externo do ouvido médio, e ambos os compartimentos são preenchidos com ar (Okuno, Caldas e Chow, 1982).

O ouvido médio é composto por três ossículos interconectados, nomeadamente o martelo, a bigorna e o estribo, que coletivamente funcionam como um sistema de alavanca. Esta configuração é crucial para a amplificação das vibrações sonoras. Ao receber ondas sonoras, o tímpano vibra e, através do mecanismo de alavanca dos ossículos, estas vibrações são amplificadas em 1,3 vezes antes de serem transmitidas ao ouvido interno. Adicionalmente, a amplificação sonora é potenciada pela diferença de área entre a membrana timpânica (64 mm²) e a janela oval (3,2 mm²), culminando num ganho potencial de até 21 vezes (Vasconcelos e Garcia, 2009).



Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7869768/mod_resource/content/1/Ouvido%20humano-%20Anatomia%2C%20doen%C3%A7as%20e%20tecnologia.pdf

Este processo de amplificação é vital, uma vez que, na transição do som de um meio aéreo (ouvido médio) para um meio líquido (ouvido interno), cerca de 99,9% da energia sonora é refletida devido à discrepância de densidade entre os dois meios. Portanto, apenas 0,1% da energia sonora é efetivamente transmitida para o ouvido interno. Sem a amplificação providenciada pelo ouvido

médio, a audição sofreria uma perda significativa, estimada em cerca de 30 dB (Vasconcelos; Garcia, 2009).

O ouvido interno desempenha um papel crucial na transdução de estímulos sonoros em sinais elétricos. Este processo ocorre na cóclea, uma estrutura situada no ouvido interno. A cóclea é caracterizada por sua morfologia semelhante a um caracol, consistindo em três canais enrolados em uma formação espiral. As paredes destes canais são essenciais para a conversão da energia sonora em impulsos elétricos. Estes impulsos são, subseqüentemente, transmitidos para o córtex auditivo, onde são interpretados como percepções sonoras (Durán, 2003).

Ao estudar a anatomia e fisiologia do ouvido interno (Lima (2012)), frequentemente referido como labirinto, é delineado por duas estruturas fundamentais que são coaxiais entre si: o labirinto ósseo e o labirinto membranoso. O primeiro, o labirinto ósseo, é uma formação que compreende cavidades e passagens esculpidas no osso, apresentando uma configuração complexa. Em contraste, o labirinto membranoso é alojado dentro do labirinto ósseo e é primordialmente composto por tubos e sacos de natureza membranosa, os quais são preenchidos por fluidos. Ressalta-se que o labirinto membranoso é sustentado no interior do labirinto ósseo através de tecido conjuntivo. O espaço intersticial entre estas duas estruturas são preenchidas por um fluido denominado perilinfa. Ademais, a constituição do labirinto ósseo abrange o vestíbulo, três canais semicirculares e a cóclea.

Figura 4 – Estrutura anatômica da orelha interna



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Audi%C3%A7%C3%A3o>

A cóclea é uma estrutura anatômica espiralada composta por um canal ósseo. Internamente, essa estrutura é subdividida, por delicadas lâminas ósseas, resultando na formação de três distintos canais: a rampa vestibular, a rampa média e a rampa timpânica. Notavelmente, a rampa média é preenchida por um fluido denominado endolinfa, caracterizado por uma concentração elevada de íons de potássio e reduzida de sódio. Em contraste, as rampas vestibular e timpânica são inundadas pela perilinfa, fluido com uma composição iônica oposta, isto é, baixa concentração de potássio e alta de sódio. Além disso, a membrana basilar serve como uma divisória entre as rampas média e timpânica. É sobre esta membrana que está localizado o *órgão de Corti*, uma estrutura especializada contendo células ciliadas. Estas células, por sua natureza mecanicamente sensível, desempenham um papel crucial na transdução dos estímulos sonoros em impulsos elétricos (Okuno, Caldas e Chow, 1982).

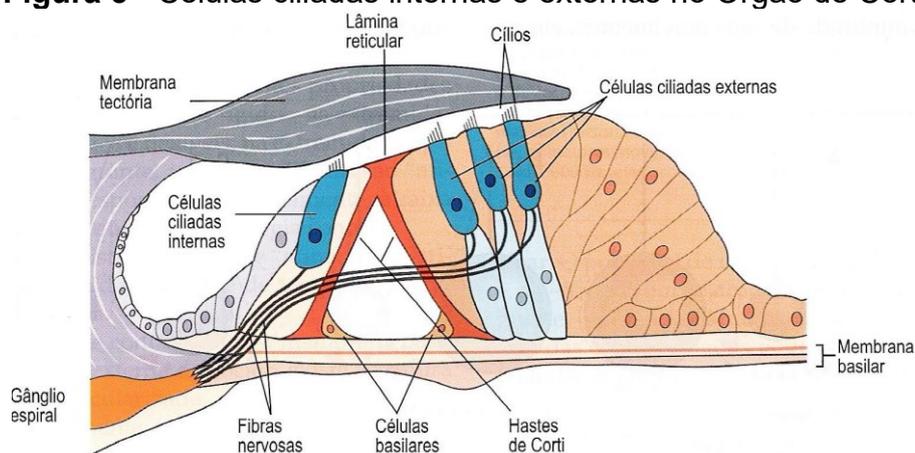
Nossa estrutura auditiva abriga duas categorias fundamentais de células ciliadas: as internas e as externas. Em detalhamento, o estudo indica a existência de aproximadamente 3.500 células ciliadas internas, com uma morfologia que remete a um frasco, em contraste com as 12.000 células ciliadas

externas, que possuem uma conformação mais tubular. A principal função das células ciliadas internas é transmitir ao cérebro as informações dos sons capturados pela cóclea. Por outro lado, as células ciliadas externas detêm a habilidade de potencializar sons de volume reduzido, otimizando a seletividade e acurácia de nossa audição.

Um aspecto intrigante sobre essa dinâmica, que embora haja menos células ciliadas internas, elas têm uma conexão mais direta com o cérebro, pois cada uma delas pode se conectar a até 30 fibras nervosas. Por outro lado, várias células ciliadas externas podem compartilhar a mesma conexão nervosa. Os cílios dessas células respondem à direção do som: quando inclinados em uma direção, eles ativam o sistema, e na direção oposta, desativam, liberando assim os neurotransmissores responsáveis por transmitir as informações sonoras ao cérebro (Herman, 2007).

Ao estudar os mecanismos subjacentes à sensação/percepção auditivas, Lima (2012) destaca que estes são complexos e representam um desafio significativo na investigação científica. Contudo, com o advento de tecnologias emergentes tornou-se possível desvendar muitos dos fenômenos enigmáticos que têm lugar no ouvido interno. Estas inovações metodológicas estão iluminando o entendimento sobre como os impulsos nervosos interagem e se propagam até alcançarem o córtex cerebral, permitindo assim uma compreensão mais aprofundada do complexo processo de audição.

Figura 5 - Células ciliadas internas e externas no Órgão de Corti



Fonte: <http://fisiol2.icb.usp.br:4882/wp-content/uploads/2017/02/TO2017Aula4.pdf>

REFERÊNCIAS

DURÁN, J. E. R. **Biofísica**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

HERMAN, I. P. **Physics of the Human Body**. Berlin: Springer, 2007.

LIMA, J. J. P. de. **Ouvido, Ondas e Vibrações, Aspecto Físicos e Biofísicos**. Portugal: ed; imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil. 1982.

VASCONCELOS, C. M. L. de.; GARCIA, E. A. C. **Biofísica para Biólogos**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2009.

APÊNDICE M – ROTEIRO PARA O USO DE SOFTWARE: O APARELHO AUDITIVO 3D

Tema: Anatomia e fisiologia do aparelho auditivo

Objetivos: - Explorar a anatomia básica do ouvido humano e suas funções.

- Compreender as transformações biológicas dos movimentos vibratórios que são direcionados até o sistema nervoso.
- Atividade com adaptação e inclusão para aluno deficiente auditivo.

Competências: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BNCC, 2018).

Simulações do software

Simulação 1: Visualização do aparelho auditivo em 3D (figura 1). Na parte inferior da tela clicar em “aparelho auditivo”, aqui o aluno pode visualizar os órgãos do aparelho auditivo, ainda é possível clicando na parte superior na letra “a” sendo indicado os nomes de todas as estruturas visualizadas, ainda é possível passando o dedo sobre a tela para esquerda e direita para manipular a imagem em 3D.

Simulação 2: Simulação do comportamento do som grave e agudo na membrana timpânica (figura 2). Clicar na parte inferior em “ouvido”, manter a opção “a” no canto superior direito acionado, no canto superior esquerdo clicar na primeira caixa de som que simula um som agudo observar o comportamento da onda sonora quando atravessa a membrana timpânica, depois testar a segunda caixa de som que simula o som grave observar o comportamento novamente.

Figura 1 – Aparelho auditivo em 3 D



Fonte: Acervo dos autores (2023).

Figura 2 – Sons agudos e graves atravessando a membrana timpânica



Fonte: Acervo dos autores (2023).

Simulação 3: Simulação dos ossículos martelo, bigorna e estribo, quando a membrana timpânica vibra ao captar sons agudos e sons graves (figura 3). Clicar na parte inferior em “ossículos do ouvido”, manter a opção “a” no canto superior direito acionado, no canto superior esquerdo clicar na primeira caixa de som que simula um som agudo observar o funcionamento em conjunto dos ossos

ao receber o estímulo da onda sonora após passar através da membrana timpânica, depois testar a segunda caixa de som que simula o som grave observar o comportamento novamente.

Figura 3 – Ossículos do ouvido



Fonte: Acervo dos autores (2023).

Simulação 4: Visualização da cóclea convertendo a onda mecânica dos sons agudos e graves e transformando em impulsos elétricos para o nervo auditivo (figura 4). Clicar na parte inferior em “cóclea”, manter a opção “a” no canto superior direito acionado, no canto superior esquerdo clicar na primeira caixa de som que simula um som agudo observar como o estímulo elétrico é criado depois de passar através da cóclea, testar a segunda caixa de som que simula o som grave observar o comportamento novamente.

Figura 4 – Processo fisiológico da cóclea



Fonte: Acervo dos autores (2023).

Simulação 5: Visualização do estímulo elétrico (figura 5). Clicar na parte inferior em “Órgão de Corti” também chamado de órgão sensorial-neural da cóclea, manter a opção “a” no canto superior direito acionado, observar o caminho das ondas elétricas até o nervo coclear.

Figura 5 – Estímulo elétrico



Fonte: Acervo dos autores (2023).

Simulação 6: Tonotopia: células receptoras reagindo aos sons graves e agudos (figura 6). Clicar na parte inferior em “Tonotopia”, nesta simulação será observado frequências sonoras (agudos e graves) são processadas em diferentes locais ao longo do córtex auditivo.

Figura 6 – Tonotopia



Fonte: Acervo dos autores (2023).

Simulação 7: Nesta simulação os alunos devem clicar na guia “Exercício” (figura 7) propostos no aplicativo, são 5 questões objetivas, assim que os

alunos respondem as questões automaticamente já são corrigidas, o objetivo é acertar o máximo de questão.

Figura 7 – Interface dos exercícios



Fonte: Acervo dos autores (2023).

Simulação 8: Para finalizar as simulações, clicar em “animação” para consolidar os temas abordados durante está atividade. Trata-se de uma revisão animada dos conceitos trabalhados, solidificando a compreensão dos tópicos abordados.

APÊNDICE N – VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM: GOOGLE FORMS

Para iniciar a avaliação de aprendizado, os estudantes devem acessar o seguinte:

link: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfyocBfosGYeAnGJv hzqM9QbubzmaLLMufK8rVDrdK6flyRNA/viewform?usp=sf_link.

SONS QUE NÃO OUVIMOS: sequência didática para o ensino de acústica.

Verificação de Aprendizagem

mbilibio.2011@gmail.com [Alternar conta](#)

✉ Não compartilhado

* Indica uma pergunta obrigatória

A frequência de uma onda sonora afeta a altura do som que ouvimos? * 1 ponto

- Sim, a frequência de uma onda sonora afeta a altura do que ouvimos.
- Não, a frequência de uma onda sonora afeta apenas a intensidade do som.
- Sim, a frequência de uma onda sonora afeta a velocidade do som, não a altura.
- Não, a frequência de uma onda sonora não tem impacto no que percebemos.

O que é infrassom? * 1 ponto

- Sons com frequência menor que o limite audível humano, abaixo de 20 Hz.
- Sons com frequência maior que o limite audível humano, acima de 20.000 Hz.
- Sons com frequência exatamente em 20 Hz.
- Sons com frequência menor que o limite audível humano, abaixo de 1.000 Hz.

Qual é o termo usado para descrever a qualidade do som que determina se ele é grave ou agudo? * 1 ponto

- Intensidade
- Frequência
- Timbre
- Amplitude

Qual é a unidade de medida da frequência de um som? * 1 ponto

- Watts.
- Hertz (Hz).
- Decibéis (dB).
- Joules.

Para que os ultrassons são comumente usados na medicina? * 1 ponto

- Para cozinhar alimentos rapidamente.
- Para diagnosticar e visualizar órgãos internos e estruturas no corpo humano.
- Para comunicação entre morcegos.
- Para criar efeitos de som em filmes de Hollywood.

Como os morcegos utilizam o ultrassom? *

1 ponto

- Para criar música.
- Para orientação e localização de presas durante o voo.
- Para se comunicar com outros morcegos.
- Para resfriar seus corpos.

Onde ocorre a transdução de alguns sinais elétricos no sistema auditivo humano? *

1 ponto

- tímpano
- cóclea
- martelo
- Na orelha interna

Como a física define o som? *

1 ponto

- o som é uma onda mecânica.
- o som é uma onda eletromagnética.
- o som é uma onda mecânica longitudinal.
- o som é uma onda transversal.

Quando as ondas sonoras chegam ao nosso ouvido, como elas são transformadas em sinais elétricos? *

1 ponto

- Através da pressão acústica.
- Pelo movimento dos ossículos no ouvido médio.
- Pela vibração das células ciliadas na cóclea.
- Todas as anteriores.

O que é uma ecolocalização usada por alguns animais, como morcegos e golfinhos? *

1 ponto

- Emissão de sons para navegação e localização de presas
- Uso de sinais elétricos para encontrar comida
- Uso de padrões de luz para se orientar
- Uso de ondas de calor para detectar obstáculos

Enviar

Limpar formulário

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários

Gabarito Avaliação Final

Pergunta	Resposta
Como os morcegos utilizam o ultrassom?	Para orientação e localização de presas durante o voo.
Para que os ultrassons são comumente usados na medicina?	Para diagnosticar e visualizar órgãos internos e estruturas no corpo humano.
O que é infrassom?	Sons com frequência menor que o limite audível humano, abaixo de 20 Hz.
Qual é a unidade de medida da frequência de um som?	Hertz (Hz).
Quando as ondas sonoras chegam ao nosso ouvido, como elas são transformadas em sinais elétricos?	Pela vibração das células ciliadas na cóclea.
A frequência de uma onda sonora afeta a altura do som que ouvimos?	Sim, a frequência de uma onda sonora afeta a altura do que ouvimos.
Onde ocorre a transdução de alguns sinais elétricos no sistema auditivo humano?	Cóclea
Como a física define o som?	O som é uma onda mecânica longitudinal.
Qual é o termo usado para descrever a qualidade do som que determina se ele é grave ou agudo?	Frequência
O que é uma ecolocalização usada por alguns animais, como morcegos e golfinhos?	Emissão de sons para navegação e localização de presas

ANEXO A - GUIA DE CONSTRUÇÃO DO TUBO SONORO

Este guia fornece instruções básicas para construção do dispositivo essencial para o desenvolvimento das atividades e experimentos de aplicação da sequência didática proposta. O equipamento aqui descrito, chamado Tubo Sonoro, permite a realização de experimentos com ondas sonoras de alta frequência (ultrassons) nos quais podemos medir a velocidade do som no ar em função da temperatura com o ar movimento relativo. Para isto, são utilizados um módulo ultrassônico HC-SR04 e um sensor de temperatura tipo NTC, controlados por uma placa de desenvolvimento Arduino (*nano* ou *Uno*) que faz o tratamento e comunicação de dados com um *smartphone* ou computador.

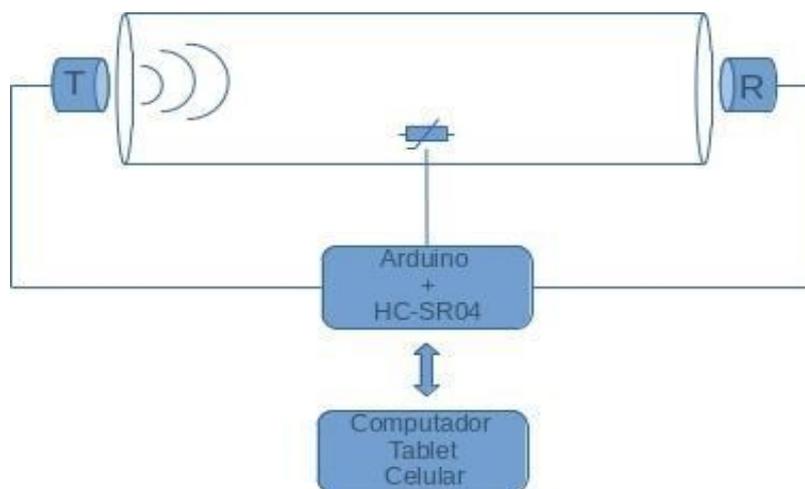
A ideia central de seu funcionamento é a utilização do sensor de distância ultrassônico HC-SR04 com os elementos piezoelétricos (transdutores) de transmissão e recepção separados e fixados nas extremidades de um tubo de PVC. Um diagrama esquemático do equipamento é mostrado na Figura 1.

Para a construção do dispositivo, são necessários:

1. Lista de materiais

- a) Tubo de PVC com diâmetro de 10 cm e 1 m de comprimento.
- b) Arduino Nano
- c) Sensor ultrassônico HC-SR04
- d) Resistor de 10 k Ω , 1/4 W
- e) Resistor de 2k2, 1/4 W
- f) Resistor de 18k, 1/4 W
- g) Termistor NTC de 10 k Ω
- h) Placa de circuito impresso perfurada
- i) Cabo blindado de áudio mono
- j) Ferro de solda para circuitos, alicate de corte, chave de fenda
- k) Conectores, parafusos, cintas plásticas, fios, solda, cabo USB.

Figura 1 - Diagrama esquemático do experimento



Fonte: acervo dos autores (2020)

2. Detalhes da Construção

Na Figura 2 apresentamos o diagrama esquemático do circuito contendo todos os componentes eletrônicos. As linhas coloridas são condutores soldados diretamente nos terminais de cada componente. Os elementos piezoelétricos são conectados à placa do HC-RS04 por meio de cabos blindados (tipo de áudio mono) a fim de evitar ruídos eletromagnéticos que podem gerar leituras espúrias no sensor.

Nas ligações do HC-SR04, o pino *trigger* deve ser conectado à porta D8 para o correto funcionamento. Já a escolha das demais portas digitais e analógicas (D4 e A7) para conexão da porta *echo* e do termistor não é crítica, podendo ser facilmente alterada no código gravado no microcontrolador.

Abaixo listamos alguns outros pontos importantes e detalhes da construção do tubo sonoro:

1) Transdutores no HC-SR04: Ambos, o receptor (R) e transmissor (T), estão originalmente soldados lado a lado na placa de circuito impresso do HC-SR04, e precisam ser dessoldados com cuidado. Pode-se notar na parte traseira de cada transdutor as letras R e T que indicam suas funções (Figura 2).

ficar na parte interna do tubo, apontados um para o outro de forma alinhada como visto nos diagrama da figura 1 e na imagem do experimento montado da figura 4.

3) As demais conexões elétricas entre Arduino, resistor, NTC e HC-RS04 devem ser soldadas para dar estabilidade mecânica, e o circuito como um todo fixado na parte externa do tubo (figura 4). Como comentado anteriormente, o NTC deve ser inserido em um pequeno orifício no centro do tubo e então fixado com cola quente.

4) Pequenos pés feitos com parafusos e porcas, nas extremidades do tubo evitam que o mesmo se mova na bancada.

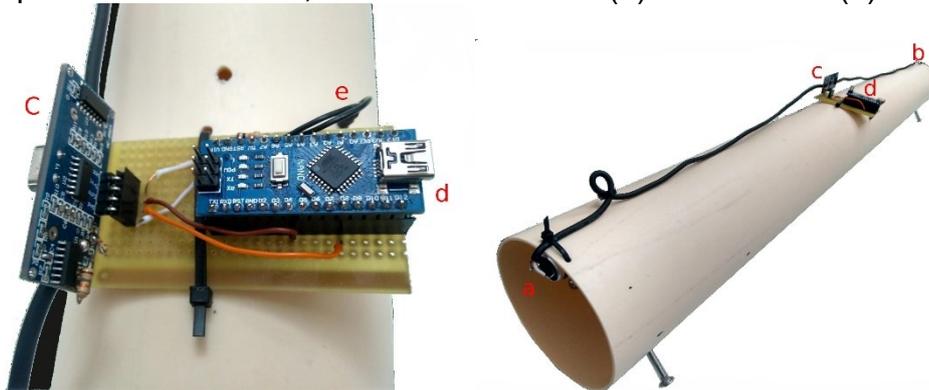
5) OPCIONAL: Uma alteração importante, mas opcional (pois requer um pouco mais de habilidade em eletrônica), foi realizada no sensor HC-SR04 a fim de melhorar sua sensibilidade. Tal dispositivo, em alguns modelos, apresenta uma falha de projeto, como pode ser verificado na Ref. [1]. Nela, o filtro na entrada do receptor foi dimensionado para 18 kHz e não para 40 kHz, a frequência de trabalho dos elementos piezoelétricos. Desta forma, a substituição de dois resistores no filtro de passa faixa, como detalhado na Ref. [1], desloca seu centro para 40 kHz.

Com tal alteração minimizam-se instabilidades na recepção dos pulsos de ultrassom, melhorando o desempenho do equipamento.

Na Figura 5 indicamos os resistores a serem alterados. O resistor R5 deve ser substituído por um resistor de 18 k Ω enquanto o resistor R3 deve ser substituído por um de 2.2 k Ω . Note que estes resistores não precisam ser SMD, podendo-se utilizar resistores de 1/8 de watt. É importante ser cuidadoso na retirada e soldagem dos novos componentes já que os originais são muito pequenos.

6) Após a construção, o Arduino Nano precisa ser programado com o código listado abaixo. Para isto utiliza-se a IDE do Arduino, seguindo o passo a passo da Ref. (<https://www.blogdarobotica.com/2021/08/10/programando-o-arduino-nano-com-old-bootloader/>)

Figura 4 – Imagens do dispositivo com alguns detalhes da construção. Em (a) e (b) temos o transmissor e receptor piezoelétricos conectados ao HC-SR04 (c) por cabos blindados, o Arduino Nano em (d) e o NTC em (e).



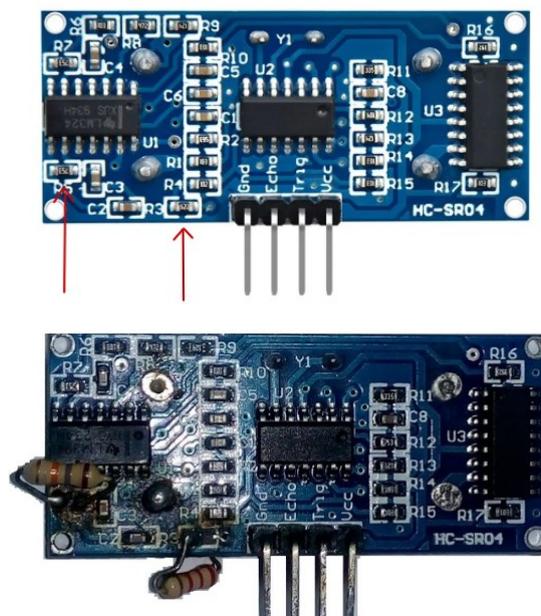
Fonte: acervo dos autores (2020)

3. Teste do equipamento

O teste do Tubo Sonoro pode ser realizado da seguinte forma:

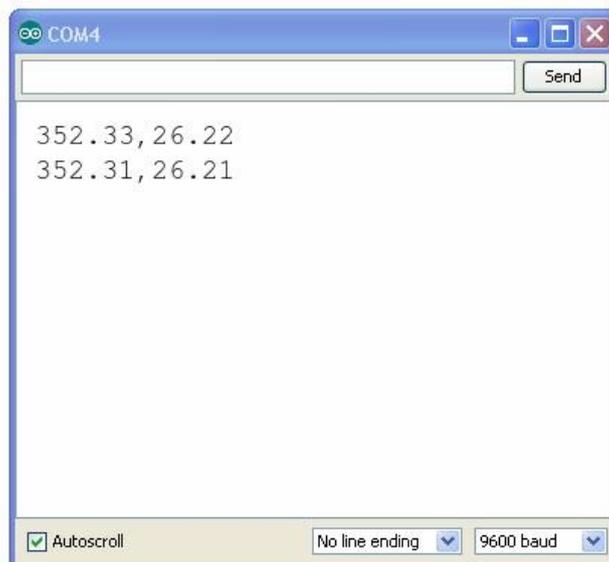
- a) Conecte um cabo USB ao Arduino do Tubo Sonoro.
- b) Em um computador, abra a IDE do Arduin utilizada para programá-lo e acesse o menu *Tools -> Serial Port* (Figura 5). Será aberta um monitor da porta serial. Seu *baud rate* deve ser de 9600.
- c) Verifique se na janela aberta começam a aparecer as leitoras dos sensores, como visto na figura 6. Em sequência devem aparecer a velocidade do som (em torno de 350 m/s) e a temperatura ambiente.
- d) A ausência de saída no monitor da porta serial ou a apresentação de valores fora do esperado indicam que a montagem deve ser revisada.

Figura 5 – Vista do módulo HC-SR04 com indicação dos resistores a serem alterados (vide texto) e com os novos resistores.



Fonte: acervo dos autores (2020)

Figura 6 – “Serial monitor” da IDE do Arduino



Fonte: acervo dos autores (2020)

4) Código fonte para Arduino:

```
//Programa para obtenção do tempo de voo e temperatura, bem
//como o cálculo
//da velocidade do som, utilizando a captura de entrada do
//timer1 do Arduino.
//Partes deste código foram adaptadas da ref.
```

```

//https://www.davidpilling.com/wiki/index.php/HCSR04

#include <stdarg.h>

long int pr(char *fmt, ... ){
    long int sai;
    char buf[128]; // resulting string limited to 128
chars
    va_list args;
    va_start (args, fmt );
    vsnprintf(buf, 128, fmt, args);
    va_end (args);
    buf[sizeof(buf)/sizeof(buf[0])-1]='\0';
    //Serial.println(buf);
    sai=atoi(buf);
    return sai;
}

double termres=10000; //Valor do termistor, no caso estamos
utilizando um termistor de 10k
double tempnominal=25; //Temperatura nominal do ntc
utilizado, esse dado deve ser pesquisado no datasheet
//do ntc que você está utilizando
double beta=2209; //Valor do beta, esse valor varia
conforme ntc, você deve verificar o datasheet (ou obtido
por calibração)
double res=9940; // resistor em serie
double ttubo=930000.0; //tamanho do tubo em micrômetros
long int salv, media=0;
int i=0;
double Resistance;
double Temp;

#define TRIGGER_PIN 4
#define ECHO_PIN 8

volatile unsigned tlcaptured = 0;
volatile unsigned tlcapval = 0;
volatile unsigned long tlovcnt = 0;
volatile unsigned long tlttime;
volatile unsigned long tllast = 0;
volatile unsigned long tllastp = 0;

#define BUFFER_SIZE 96

volatile unsigned long int buffer[BUFFER_SIZE];
volatile byte head = 0;
volatile byte tail = 0;

```

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  //*****

  while (!Serial) { ; /* Espera pela conexão da porta serial
  */}

  TCCR1A = 0x0;    // Coloca o timer1 em modo normal
  TCCR1B = 0x2;    // Troca o prescaler para dividir o clock
  por 8
  TIFR1 = (1<<ICF1) | (1<<TOV1); // Apaga qualquer interrupção
  de captura e overflow pendentes
  TIMSK1 |= (1<<ICIE1) | (1<<TOIE1); // Habilita as
  interrupções de captura de entrada e overflow

  pinMode(8, INPUT); // Pino de Echo
  pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT);
}

void loop()
{
  byte newhead;
  unsigned long time1;

  time1=millis();

  digitalWrite(TRIGGER_PIN, 0);
  delayMicroseconds(4);
  digitalWrite(TRIGGER_PIN, 1);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIGGER_PIN, 0);

  TCCR1B |= (1<< ICES1); //Aciona o detector de borda para
  detectar a subida
  head=tail;

  while(1)
  {
    if(head!=tail)
    {
      newhead = (head + 1) % BUFFER_SIZE;
      head=newhead;
      break;
    }
    if((millis()-time1)>50) break;
  }
}

```

```

delayMicroseconds(5);

TCCR1B &= ~(1 << ICES1); //Aciona o detector de borda para
detectar a descida

head=tail;

while(1)
{
  if(head!= tail)
  {
    newhead = (head + 1) % BUFFER_SIZE;
    salv=pr("%lu",buffer[newhead]);
    head=newhead;
    break;
  }
  if((millis()-time1)>50) break;
}

//*****

media=media+salv;
i=i+1;

if(i==19) {

//Modelo exponencial para o NTC
Resistance=res*((1024.0/analogRead(6)) - 1.0);
Temp=log(Resistance/termres)/beta;
Temp=Temp+(1.0 / (tempnominal + 273.15));
Temp=1./Temp;
Temp=Temp-273.15; //Temperatura em graus cent

//Saida serial de dados
Serial.print(ttubo/((media/20.)+248)); //248 us de atraso
na emissão do sinal (típico do HC-SR04)
Serial.print(",");
Serial.println(Temp);
media=0;
i=0;}

delay(100);

}

//*****

```

```

ISR(TIMER1_OVF_vect)
{
  tlovcnt++;          // Conta o número de overflows
}

ISR(TIMER1_CAPT_vect)
{
  unsigned long t1temp;

  // Combina a contagem de overflows com o valor de captura
  para criar uma contagem em 32 bits
  // Calcula quanto tempo se passou desde a última captura
  // Junta o resultado na variavel global t1time com precisão
  de 1 us
  t1capval = ICR1;
  t1temp = ((unsigned long)tlovcnt << 16) | t1capval;
  t1time = (t1temp - t1last) >> 1;
  t1lastp=t1last;
  t1last = t1temp;
  tail = (tail + 1) % BUFFER_SIZE;
  buffer[tail] = t1time;
}
//*****

```

REFERÊNCIAS

[1] Making a better HC SR04 Echo Locator. Ugly Duck, Disponível em: https://uglyduck.vajn.icu/ep/archive/2014/01/Making_a_better_HC_SR04_Echo_Locator.html. Acesso em: 01 out. 2023.

ILIBIO B. M., GIRARDI M. Um experimento de baixo custo com Arduino para o estudo de ondas sonoras. **A Física na Escola**, v. 18, n. 2, 2020. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol18-Num2/FnE-18-02-200503.pdf> Acesso em 20 out. 2023

ANEXO B - GUIA DE CONSTRUÇÃO DO DETECTOR DE ULTRASSONS

Este guia fornece instruções básicas para construção do equipamento essencial para o desenvolvimento das atividades e experimentos de aplicação da sequência didática proposta.

O dispositivo aqui descrito compreende um transdutor ultrassônico (microfone para altas frequências) e um circuito que processa digitalmente os sinais recebidos, convertendo-os em sons de frequência na faixa da audição humana e emitindo uma luz indicadora. O circuito é composto por dois amplificadores operacionais LM386 que amplificam em 4000 vezes o sinal do transdutor. O circuito integrado CD4024 é um contador/divisor binário que divide por 16 a frequência do sinal amplificado.

A saída do divisor é conectada a um LED e a um fone de ouvido que transformam em luz e sons audíveis os sinais ultrassônicos recebidos.

Para a construção do dispositivo, são necessários:

1. Lista de Componentes

- a) Transdutor Ultrassônico (cápsula receptora retirada de um módulo HC-SR04 para Arduino)
- b) 2 (dois) amplificadores operacionais LM386
- c) Contador/divisor binário CD4024
- d) Clipe de bateria de 9 volts
- e) Bateria de 9 volts
- f) *Protoboard*
- g) 20 (vinte) jumpers macho-macho para *Protoboard*
- h) Fone de ouvido
- i) Conector de audio de 3,5 mm para *Protoboard*
- j) Resistor variável para montagem em *Protoboard* de 10 k Ω
- k) Capacitor eletrolítico de 470 uF, 16 volts
- l) Capacitor eletrolítico de 10 uF, 25 volts
- m) Capacitor cerâmico de 0,047 uF, 50 volts
- n) LED (qualquer cor)
- o) Resistor de 1 k Ω , 1/4W

- p) Solda de estanho
- q) Ferro de solda para circuitos
- r) Caixa plástica para montagem (opcional)
- s) Placa de circuito impresso (tipo *Protoboard* com trilhas) (opcional)

Todos os componentes listados acima são facilmente encontrados em lojas de componentes eletrônicos ou mesmo em sucata de materiais eletrônicos.

2. Detalhes da Construção

O diagrama esquemático é visto na figura 1. Para transpô-lo à placa de prototipagem (*Protoboard*) são necessárias algumas etapas.

a) O primeiro passo consiste em retirar o transdutor de ultrassom da placa HC-SR04. A figura 2 indica qual é o receptor e quais soldas que precisam ser desfeitas. Os dois terminais precisam estar sem solda para que possam encaixar na *Protoboard*.

b) Com o transdutor retirado, identifique todos os demais componentes. Note que os capacitores eletrolíticos, bem como o LED, têm polaridade. Nos capacitores, a faixa lateral indica o polo negativo. No LED, o pino do lado chanfrado é o negativo. Além disso, nos circuitos integrados, o pino 1 está no lado chanfrado e é indicado por um ponto.

c) A figura 3 traz uma sugestão de montagem dos componentes, onde as linhas azuis indicam os *jumpers*. Para reproduzi-la:

c.1) Inicie com os circuitos integrados, observando a localização do pino 1;

c.2) Em seguida, conecte os capacitores eletrolíticos e o LED tomando cuidado em identificar a polaridade dos terminais;

c.3) Por fim, coloque os demais componentes, inclusive o fone, e conecte-os com os *jumpers*.

Obs.: A bateria deve ser instalada por último, após a verificação do circuito.

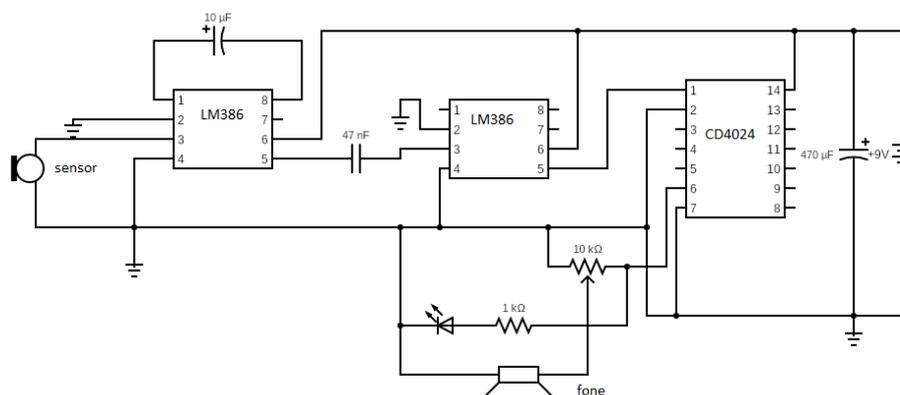
3. Funcionamento

O teste do circuito é realizado aproximando-se o sensor de uma fonte de ultrassons, que deve emitir ruídos e acender o LED. Esta pode ser o próprio módulo HC-SR04 (o mesmo do qual foi retirado o transdutor) ligado em um Arduino como sensor de distância. Para isto, siga os passos listados no link a seguir:

<https://www.makerhero.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino/>

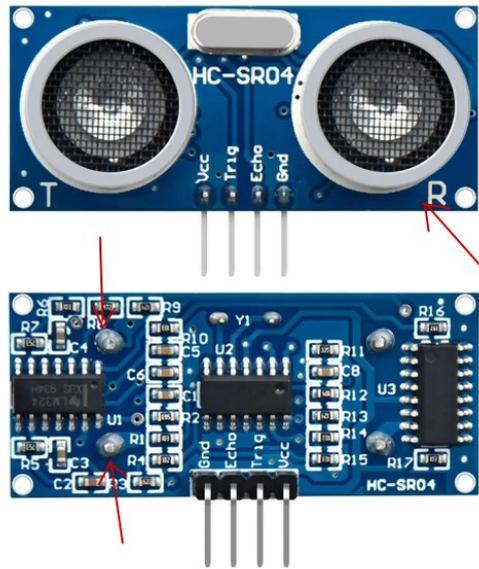
Por fim, o circuito pode ser utilizado na própria *Protoboard* ou ainda ser transferido para uma placa de circuito impresso permanente (figura 4). A montagem em uma caixa é optativa, mas torna o equipamento mais portátil e resistente. Uma possibilidade de construção é mostrada na figura 5 onde o fone de ouvido foi substituído por um pequeno alto-falante e foi adicionada uma chave de liga-desliga.

Figura 1 – Diagrama esquemático do circuito



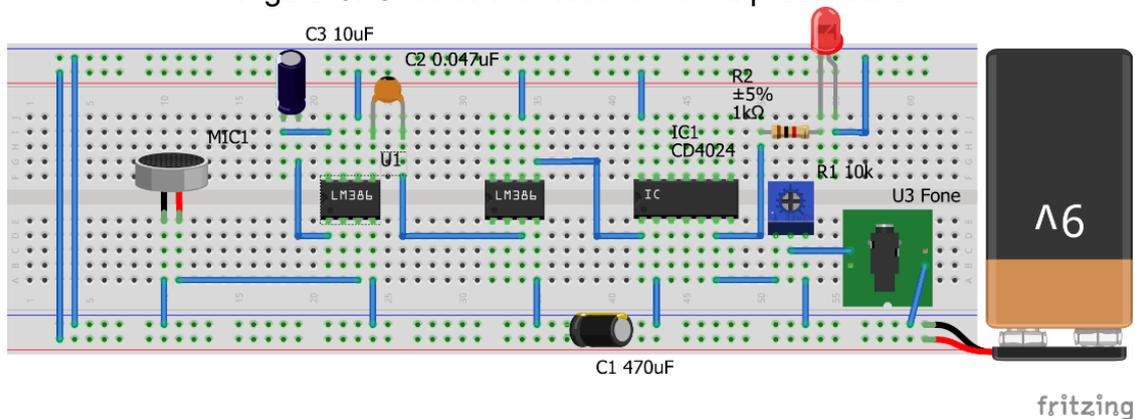
Fonte: Adaptado de: <http://batdetector.freevar.com/>

Figura 2: Módulo HC-SR04. As flechas indicam o sensor a ser retirado e as soldas a serem desfeitas.



Fonte: acervo dos autores (2020)

Figura 3: Circuito montado em uma protoboard



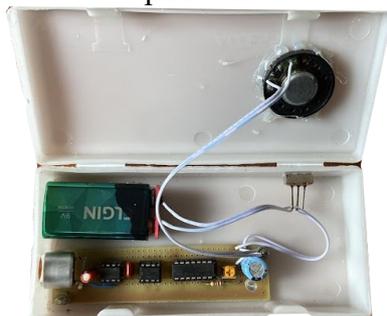
Fonte: acervo dos autores (2020)

Figura 4: Placa de circuito impresso para montagem permanente.



Fonte: Internet

Figura 5: Circuito montado em uma placa permanente e acondicionado em caixa plástica.



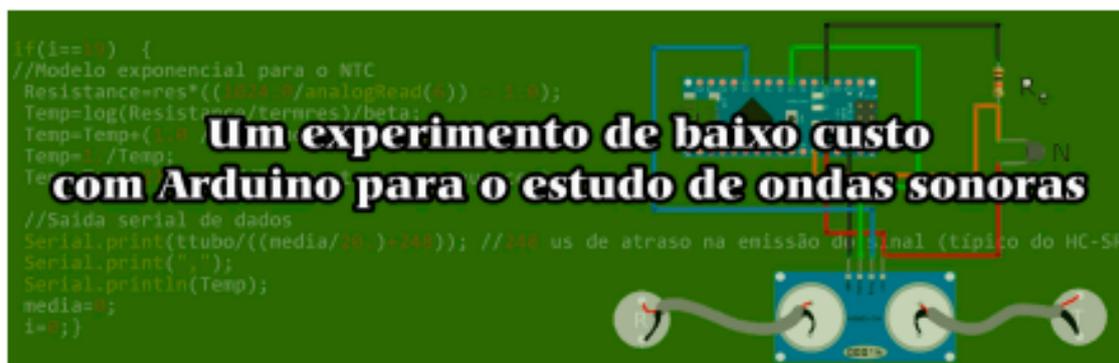
Fonte: acervo dos autores (2020)

REFERÊNCIAS

BAT DETECTOR. Build a Simple Bat Detector. **Bat Detector**. 2022. Disponível em: <http://batdetector.freevar.com/> Acesso em: 20 out. 2023

MAKERHERO. Sensor ultrassônico HC-SR04 ao Arduino. **MakerHero Blog**. 2022. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino> Acesso em: 20 out. 2023

ANEXO C – ARTIGO: UM EXPERIMENTO DE BAIXO CUSTO COM ARDUINO PARA O ESTUDO DE ONDAS SONORAS



Michelle Belmiro Ilibio e
Maurício Girardi*

Coordenadoria Especial de Física,
Química e Matemática, Universidade
Federal de Santa Catarina, Araranguá,
SC, Brasil.

RESUMO

O desenvolvimento de experimentos sofisticados e de baixo custo para o ensino de física tem crescido significativamente com o surgimento de microcontroladores como o Arduino e seus clones. A vasta gama de sensores e acessórios facilmente integráveis permitem a construção de experimentos automatizados e monitorados por computador, bem como a exploração de fenômenos físicos antes inacessíveis. Nesse contexto, o presente trabalho demonstra a construção de um experimento para o estudo da propagação de ondas sonoras no ar. Para isso, utilizamos um sensor de ultrassom e de temperatura controlados por Arduino, a fim de obter a dependência da velocidade do som com a temperatura, bem como seu comportamento quando o ar está em movimento relativo. O experimento é de fácil construção e de baixo custo, podendo ser utilizado com microcomputadores ou dispositivos móveis, bem como adaptado para experimentação remota. Um aplicativo para dispositivos Android também foi desenvolvido, para a exibição gráfica dos dados em tempo real e mobilidade do experimento.

Palavras-chave: física experimental; ondas sonoras; Arduino; Ensino Médio

1. Introdução

A utilização de novas tecnologias para o ensino tem se popularizado e atraído tanto profissionais de ensino quanto entusiastas amadores para o desenvolvimento de dispositivos experimentais voltados ao estudo das diferentes áreas da física. O baixo custo e a facilidade de acesso a dispositivos móveis, computadores e microcontroladores, bem como a uma miríade de sensores aliados a softwares de desenvolvimento cada vez mais intuitivos, permitem a elaboração de experimentos sofisticados que podem ser replicados em escolas e universidades.

Particularmente, o estudo de ondas sonoras nos diferentes níveis foi aprimorado com o surgimento de experimentos que abordam os diferentes aspectos da propagação do som no ar e em outros meios materiais. Muitas são as técnicas e aparatos experimentais já propostos para obtenção da velocidade do som, todas com suas vantagens e desvantagens, explorando aspectos distintos da propagação de ondas sonoras. Baraúna e cols. [1] utilizou um osciloscópio e um gerador de sinais para, a partir das figuras de Lissajous, obter a velocidade do som no clássico experimento do tubo ressonante. O resultado obtido para velocidade do som concorda com a previsão teórica e a abordagem por figuras de Lissajous e traz à tona a ideia da superposição de movimentos ondulatórios.

Lüdke e cols. [2] propõe a construção de dois circuitos, um transmissor e um receptor de ultrassom, tendo o re-

ceptor dois microfones distanciados entre si. Conectado à placa de som de um computador, permite obter o intervalo de tempo entre os sinais recebidos pelos dois microfones e assim calcular a velocidade do som. Além disso, movendo-se o transmissor a velocidade constante na direção do receptor, foi possível estudar o efeito Doppler-Fizeau pelo desvio da frequência da onda recebida. Já Da Silveira e cols. [3] empregou a plataforma Arduino para o ensino inclusivo de ondas sonoras, explorando o funcionamento do sensor de distância ultrassônica, mas sem obter a velocidade do som.

Velasco e cols. [4] utilizou uma construção mais sofisticada com um tubo de ar cuja temperatura é controlada por um fluxo de água, para obter a dependência da velocidade do som com a temperatura. Nesse caso, um *data logger* conectado a um computador e um gerador de sinais mede o intervalo de tempo entre a emissão e a recepção de um sinal no interior do tubo e, consequentemente, a velocidade do som. Por fim, Hahn e cols. [5] empregou sensores de temperatura e o sensor de ultrassom HC-SR04 para estimar a dependência entre a velocidade do som e a temperatura, pelo tempo de voo do pulso emitido e refletido por uma barreira.

No presente trabalho, reunimos algumas ideias presentes nos trabalhos acima citados para desenvolver um dispositivo experimental utilizando Arduino que alia fácil construção, baixo custo e mobilidade para explorar não apenas a dependência da velocidade do som

O baixo custo de dispositivos móveis, computadores sensores, aliados a softwares de desenvolvimento cada vez mais intuitivos, permitem a elaboração de experimentos sofisticados que podem ser replicados em escolas e universidades

*Autor de correspondência. E-Mail: mauricio.girardi@ufsc.br.

com a temperatura mas também discutir o problema do movimento relativo na propagação do som no ar em movimento. Produzimos também uma interface gráfica para dispositivos móveis que permite representar graficamente os dados em tempo real enquanto o experimento é alimentado pelo celular ou tablet. O software de aquisição de dados gravado no microcontrolador Arduino foi também adaptado para minimizar os erros no cálculo do tempo entre transmissão e recepção do sinal sonoro.

Dividimos o artigo como se segue: na seção 2, apresentamos os detalhes de construção e funcionamento do dispositivo, bem como diagramas e esquema do circuito. Nessa seção também são discutidos detalhes do funcionamento dos softwares de aquisição e tratamento dos dados. Na seção 3, descrevemos as possíveis aplicações do dispositivo na obtenção de algumas propriedades de propagação das ondas sonoras no ar e, por fim, na seção 4 apresentamos as conclusões e perspectivas.

2. Hardware e software

O experimento aqui apresentado é composto por um hardware com os sensores de ultrassom e temperatura ligados ao microcontrolador do Arduino Nano, montado em uma estrutura tubular, e também dois programas para controle, aquisição e tratamento de dados. Descreveremos a seguir os detalhes de cada elemento do dispositivo experimental.

2.1. Hardware e funcionamento

Na Fig. 1 mostramos em duas perspectivas o equipamento em sua montagem final. Nesse protótipo, foram utilizados os seguintes componentes:

- Tubo de PVC com diâmetro de 10 cm e 1 m de comprimento
- Arduino Nano
- Sensor ultrassônico HC-SR04
- Resistor de 10 k Ω
- Termistor NTC de 10 k Ω
- Placa de fenolite perfurada
- Cabo blindado mono
- Conectores, parafusos, cintas plásticas, fios, solda, cabo USB

A ideia central de seu funcionamento é a utilização do sensor de distância ultrassônico HC-SR04 com os elementos piezoelétricos de transmissão e recepção separados e fixados nas extremidades de um tubo, como na Fig. 2. Um pulso de ultrassom de 40 kHz é produzido e o intervalo de tempo entre

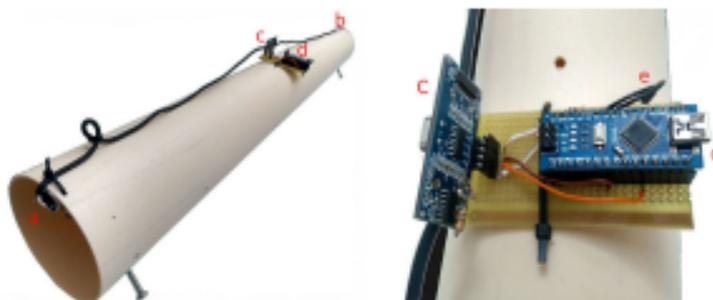


Figura 1 - Imagens do dispositivo com alguns detalhes da construção. Em (a) e (b) temos o transmissor e receptor piezoelétricos conectados ao HC-SR04 (c) por cabos blindados, o Arduino Nano em (d) e o NTC em (e).

transmissão e recepção (tempo de voo) é obtido pelo microcontrolador Arduino. A velocidade do som é então obtida conhecendo-se o comprimento do tubo. A aquisição do tempo de voo é crítica e envolve a utilização de *timers* presentes no Arduino, como será discutido mais adiante. Com um termistor NTC (dispositivo cuja resistência decresce com a temperatura), a temperatura do ar no interior do tubo também é medida.

Utilizando-se um soprador (secador de cabelos), pode-se forçar a passagem de ar em ambos os sentidos no interior do tubo, bem como aquecê-lo. Assim se obtém, de forma qualitativa e quantitativa, a dependência da velocidade do som no ar com a temperatura e as propriedades de propagação em meio em movimento (problema da velocidade relativa).

Por meio de conexão via porta USB entre o Arduino e um computador, tablet ou celular, faz-se a alimentação do dispositivo, bem como a coleta de dados (temperatura e velocidade do som). Note que, para utilização com aparelhos celulares e tablets Android é necessário que eles sejam compatíveis com cabo tipo USB-OTG (On-The-Go), que permite que tais dispositivos possam se comportar como controladores de outros aparelhos, tais como impressoras, pen-drives etc.

Na Fig. 3, temos um diagrama esquemático do circuito. O *trigger* do HC-SR04 deve ser conectado à porta D8 para o correto funcionamento. Já a escolha das demais portas digitais e analógicas (D4 e A7) para conexão da porta *echo* e do termistor não é crítica, podendo ser facilmente alterada no código

gravado no microcontrolador.

O termistor (R_T) e o resistor (R_0) de 10 k Ω formam um divisor de tensão que permite obter a resistência do termistor pela equação:

$$R_T = R_0 \left(\frac{V}{V_T} - 1 \right), \quad (1)$$

onde $V = 5 \text{ V}$ e V_T é a tensão no pino analógico A7. A temperatura é então calculada em Kelvin pela Eq. (6):

$$T = \frac{1}{\frac{1}{2} \ln \left(\frac{R_T}{R_{25}} \right) + \frac{1}{273.15}}, \quad (2)$$

onde $R_{25} = 10 \text{ k}\Omega$ e B pode ser obtido no *datasheet* do termistor ou por calibração com um termômetro externo.

Vale aqui enfatizar que a temperatura pode ser obtida também pelo uso do sensor LM35, muito utilizado com Arduino e com precisão menor que 1 $^\circ\text{C}$, sem necessidade de calibração externa.

Optou-se aqui pelo uso do celular por ser mais facilmente encontrado em sucatas de eletrônica.

Os elementos piezoelétricos são conectados à placa do HC-SR04 por meio de cabos blindados (tipo de áudio mono), a fim de evitar ruídos eletromagnéticos que possam gerar leituras espúrias.

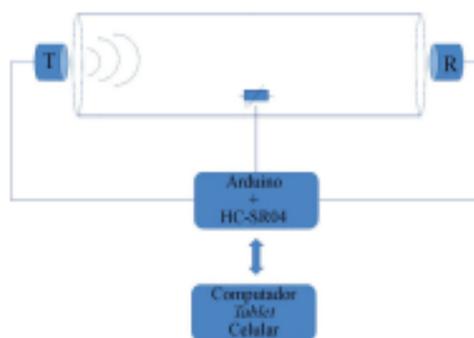


Figura 2 - Diagrama esquemático do experimento.

as no sensor. O termistor foi inserido no interior do tubo por um pequeno orifício.

A montagem do equipamento demanda apenas conhecimentos básicos em eletrônica e o dispositivo pode ser construído por menos de R\$ 60,00 (em valores de 03/2020) com componentes novos ou por ainda menos com peças obtidas de sucata.

2.2. Detalhes da construção

O dispositivo aqui apresentado tem construção bastante simples, mas que demanda algum detalhamento. O ponto de maior atenção é o da separação dos transdutores no HC-SR04. O receptor (R) e o transmissor (T) são ambos soldados lado a lado na placa de circuito impresso e precisam ser dessoldados com cuidado. Pode-se notar na parte traseira de cada transdutor as letras R e T, que indicam suas funções. Os cabos blindados devem ser então soldados na placa e nos transdutores. Note que receptor e transmissor não têm polaridade. Todavia, o cabo blindado em R deve ter sua malha externa soldada no terminal da placa conectado ao terra, como visto na Fig. 3. Os transdutores podem agora ser fixados nas extremidades do tubo por braçadeiras.

Uma alteração importante, mas opcional, tendo em vista a necessidade de mudanças no circuito, foi realizada no sensor HC-SR04, a fim de melhorar sua sensibilidade. Tal dispositivo, em alguns modelos, apresenta uma falha de projeto, como pode ser verificado na Ref. [7]. Nela, o filtro na entrada do re-

ceptor foi dimensionado para 18 kHz e não para 40 kHz, a frequência de trabalho dos elementos piezoelétricos. Dessa forma, a substituição de dois resistores no filtro de passa faixa, como detalhado na Ref. [7], desloca seu centro para 40 kHz. Com tal alteração, minimizam-se instabilidades na recepção dos pulsos de ultrassom, melhorando o desempenho do equipamento.

As demais conexões elétricas entre Arduino, resistor, NTC e HC-SR04 devem ser soldadas, para dar estabilidade mecânica, e o circuito como um todo fixado na parte externa do tubo. Como comentado anteriormente, o NTC deve ser inserido em um pequeno orifício no centro do tubo e então fixado com cola quente.

Por fim, pequenos pés nas extremidades do tubo evitam que ele se mova na bancada.

2.3. Programação do Arduino e interface gráfica

Como afirmado anteriormente, a leitura do tempo de voo é crítica nessa aplicação. Muitas discussões sobre as limitações do HC-SR04 podem ser vistas na literatura, [8] sendo que o erro estimado na medida do tempo é da ordem de 25 μ s. Além disso, o erro no processo de aquisição de dados pode chegar a 100 μ s, o que geraria uma variação total de 13 m/s na medida da velocidade.

Algumas estratégias são apontadas para melhorar ambos os erros, o que inclui uma modificação do hardware do HC-SR04 (que é bastante complicado e não sugerido neste caso) e uma aborda-

gem diferente na aquisição de dados. Nesta última, a indicação é não utilizar as bibliotecas padrão da HC-SR04, como a *NewPing* [9].

Assim, utilizou-se o timer do Arduino no modo de "captura de entrada", [10] no qual uma mudança de estado da porta D8 (*trigger*) salva o estado do *timer1* em um registrador e gera uma interrupção. Com esse método, temos uma resolução de 1 μ s, além de evitarmos atrasos devidos a outras interrupções. São realizadas ainda médias com 20 amostras, antes de se calcular a velocidade do som.

Dessa forma, pequenas variações de temperatura e deslocamentos de ar dentro do tubo podem ser observadas, permitindo-se a avaliação quantitativa das propriedades das ondas sonoras no ar.

No Anexo 1, transcrevemos o código utilizado na programação do Arduino.

Além do software para aquisição de dados para Arduino, desenvolvemos uma aplicação para dispositivos móveis para representação gráfica dos dados em tempo real. Esse aplicativo foi criado com auxílio do MIT App Inventor e pode ser editado ou baixado na Ref. [11]. Após baixá-lo, é necessário instalá-lo no dispositivo móvel. A Fig. 4 mostra uma impressão de tela desse aplicativo. A interface simples permite que se apresentem a velocidade do som e a temperatura em função do tempo, com ajuste manual ou automático de escala. A comunicação com o Arduino via cabo USB-OTG é feita com a USB Serial Bridge encontrada na Ref. [12].

Para a execução do experimento em computadores com sistemas operacionais Windows ou Linux, pode-se utilizar o monitor de porta serial da ferramenta de desenvolvimento do Arduino ou outro programa gratuito como *SerialPlot* [13].

3. Aplicações e discussões

O equipamento aqui apresentado foi testado em experimentos envolvendo a dependência da velocidade do som com a temperatura e o problema do movimento relativo quando o som se propaga no ar em movimento.

No primeiro caso, o da dependência da velocidade do som com a temperatura, duas atividades, sendo uma demonstrativa (qualitativa) e outra quantitativa, podem ser propostas.

Como é sabido para gases ideais, a velocidade do som pode ser obtida de

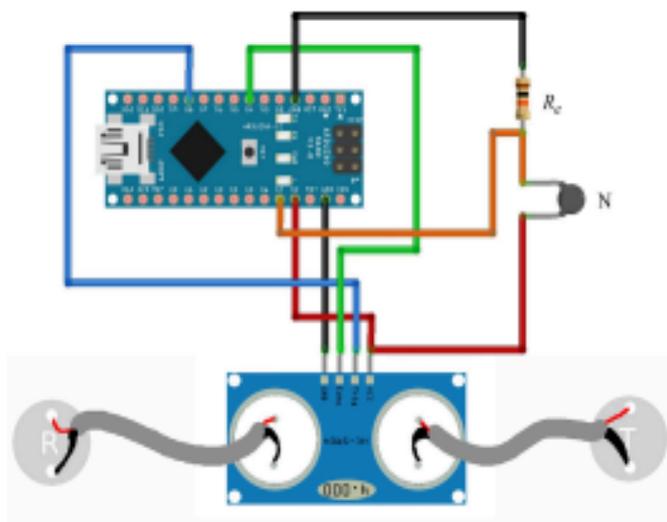


Figura 3 - Diagrama esquemático do circuito eletrônico.

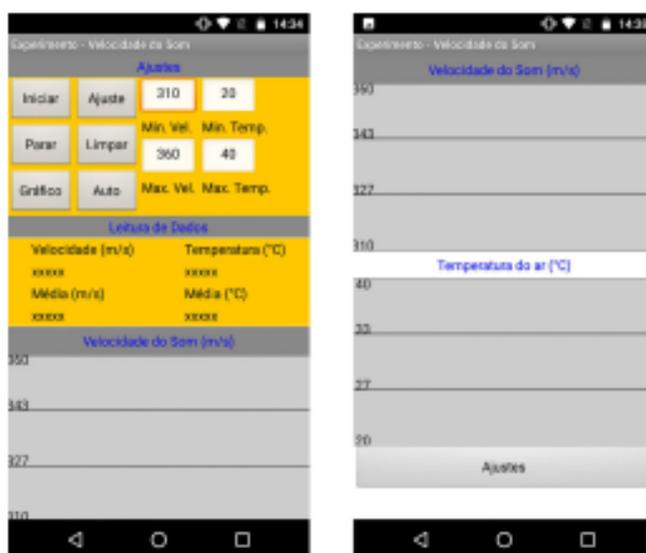


Figura 4 - Interface gráfica executada em um dispositivo móvel Android. Destacamos, à esquerda, os ajustes manual e automático de escala e, à direita, a representação gráfica da velocidade do som e da temperatura em função do tempo (eixo horizontal sem escala).

[14]:

$$v_{\text{som}} = \frac{\sqrt{\gamma k T}}{m}, \quad (3)$$

onde γ é o coeficiente de expansão adiabático, definido como a razão entre os calores específicos a pressão e a volume constantes (C_p/C_v), k é a constante de Boltzmann, T a temperatura e m a massa molecular do gás. Assim, podemos afirmar que a velocidade do som varia monotonicamente com a temperatura e cresce (decrece) com o aumento (diminuição) da temperatura.

Dessa forma, no experimento qualitativo, com o auxílio de um secador de cabelos, aquece-se o tubo de PVC e assim o ar em seu interior. Fazemos isso fechando as extremidades do tubo para não haver circulação do ar internamente. O efeito do aquecimento do tubo pode ser visto na Fig. 5a, onde temos um salto na velocidade no instante em que o tubo é aquecido. O mesmo experimento foi realizado envolvendo-se o tubo com tecidos umedecidos com água gelada (0 °C), após o que vemos na Fig. 5b o decréscimo da velocidade do som.

Nesses casos, temos apenas o comportamento qualitativo para dependência da velocidade do som com a temperatura, já que não podemos garantir

que a temperatura do ar no interior do tubo seja aquela medida pelo termistor. Isso ocorre porque o sistema não está em equilíbrio térmico com o meio e o termistor não está completamente iso-

lado no interior do tubo.

Todavia, um experimento quantitativo pode ser feito durante intervalos de tempo maiores (horas ou dias), nos quais se monitora a temperatura e a velocidade do som com o sistema em equilíbrio com o ambiente. Em salas climatizadas e em dias com grandes amplitudes térmicas é possível, com os dados obtidos, fazer-se um ajuste pela Eq. 3. Na Fig. 6 são mostrados os resultados para velocidade do som em função da temperatura, comparados com os dados experimentais da Ref. [4]. É importante notarmos que nessa escala de temperatura o comportamento da curva é aproximadamente linear. Nesse experimento, uma sala pré-aquecida teve sua temperatura diminuída lentamente de 31,7 °C para 27,5 °C. Os resultados são coincidentes nessa faixa de temperaturas, concordando inclusive com o modelo teórico dado pela Eq. (3). Todavia, para temperaturas mais baixas (dados não apresentados), o comportamento parece divergir da curva teórica, o que pode indicar um problema de calibração do termômetro via NTC (que não foi realizada nesse caso).

Outra atividade demonstrativa (qualitativa) envolve a ideia de movimento relativo quando o som se propaga em um meio que se move paralelamente à direção de propagação. Nesse caso, a velocidade do som pode ser es-

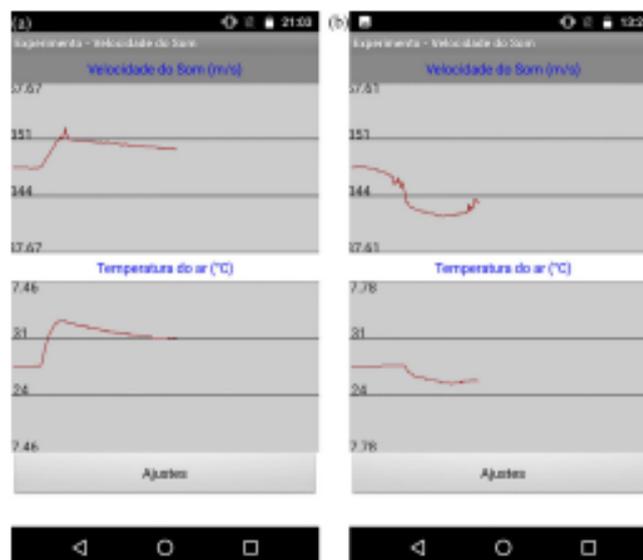


Figura 5 - Gráficos da velocidade do som e da temperatura em função do tempo. Em (a) o sistema foi aquecido com um secador de cabelos e em (b) foi resfriado com panos úmidos em água gelada.

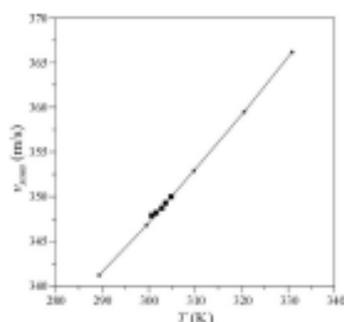


Figura 6 - Velocidade do som no ar em função da temperatura. Resultados obtidos com o dispositivo aqui apresentado (quadrados) e dados experimentais da Ref. [4].

crita como [15]

$$v = u + v_{som}, \quad (4)$$

onde u é a velocidade do ar na direção de propagação do som, sendo positiva se estiverem no mesmo sentido e negativa se em sentidos opostos.

Dessa forma, o experimento é realizado fazendo-se o secador de cabelo, com ar frio, soprar em cada lado. Na Fig. 7, apresentamos o aumento da velocidade do som ao direcionarmos o fluxo de ar para a extremidade com o transmissor, e sua diminuição com o fluxo na extremidade com o receptor.

4. Conclusões

O dispositivo aqui apresentado des-

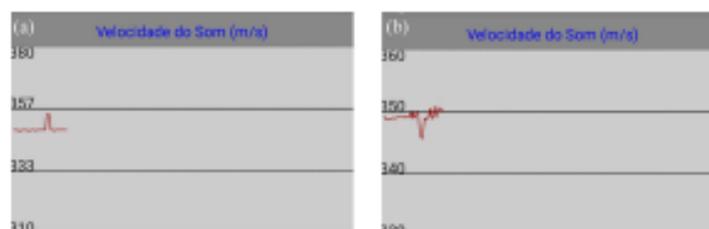


Figura 7 - Gráficos velocidade do som em função do tempo para (a) fluxo de ar no sentido de propagação do som e (b) no sentido contrário.

tina-se ao estudo de algumas propriedades de propagação do som no ar utilizando um sensor de ultrassom e de temperatura controlados por um microcontrolador Arduino.

A dependência da velocidade do som com a temperatura pode ser obtida de forma qualitativa em experimentos de demonstração, bem como de forma quantitativa, quando utilizado em experimentos mais longos (horas ou dias). O problema da velocidade relativa na propagação no ar em movimento também pode ser explorado, discutindo-se a necessidade de um meio material para a transmissão de ondas sonoras.

O baixo custo, a facilidade de construção e a possibilidade de conexão com dispositivos móveis tornam o dispositivo bastante atrativo para aplicação em laboratórios didáticos e para demonstrações em sala de aula.

A interface gráfica desenvolvida para esse experimento, embora simples, permite monitorar a velocidade

do som e a temperatura em função do tempo, juntamente com seus valores médios. Com poucas modificações, pode ainda incluir a possibilidade de gravação dos dados para análises posteriores.

Uma perspectiva interessante para esse dispositivo é sua adaptação para a experimentação remota. Nesse caso, basta a implementação de um controle, via relês, de dois secadores de cabelo, adaptados nas extremidades do tubo. Com quatro relês, seria possível o acionamento das ventoinhas e dos aquecedores, possibilitando a realização dos experimentos acima descritos via internet [16].

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Governo do Estado de Santa Catarina (FUMDES/2019), à Universidade Federal de Santa Catarina e à Sociedade Brasileira de Física pelo apoio financeiro.

Material suplementar

Anexo 1: Código para programação da placa Arduino.

Referências

- [1] F. Baraúna, J. Furtado, S. Perez, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **37**, 3310 (2015).
- [2] E. Lúdio, P.J. Cauduro, A.M. Vieira, R.B. Adornes, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **4**, 1702 (2012).
- [3] M.V. da Silveira, R.B. Barthem, A.C. dos Santos, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **41**, e20180084 (2019).
- [4] S. Velasco, F.L. Román, A. González, J.A. White, *American Journal of Physics*, **72**, 276 (2004).
- [5] M.D. Hahn, F.A.O. Cruz, P.S. Carvalho, *The Physics Teacher*, **57**, 114 (2019).
- [6] A.P. Godse, U.A. Bakshi, *Basic Electrical And Electronics Engineering*, Technical Publications, 2007.
- [7] http://uglyduck.vajn.icu/wp/archive/2014/01/Making_a_better_HC_SR04_Echo_Locator.html, acessado em 26/03/2020.
- [8] <https://www.davidpilling.com/wiki/index.php/HCSR04>, acessado em 26/03/2020.
- [9] <https://playground.arduino.cc/Code/NewPing/>, acessado em 26/03/2020.
- [10] <https://people.ece.cornell.edu/land/courses/cc340q/Timer1/timer1.html>, acessado em 26/03/2020.
- [11] a12.appinventor.mit.edu/?galleryId=6543501575192576, ou <https://drive.google.com/file/d/1o5uEjr3xm0NP1M96-6hluZdrkHeYX3v9/view?usp=sharing>, acessado em 26/03/2020.
- [12] <https://github.com/kinsamanka/usbfa>, acessado em 26/03/2020.
- [13] <https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software>, acessado em 26/03/2020.
- [14] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica* (Blucher, São Paulo, 2014), v. 2, 5ª. ed.
- [15] T. Rossing, *Handbook of Acoustics* (Springer, Berlin, 2007).
- [16] T.R. Barros, W.S. Dias, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **41**, e20190049 (2019).

REFERÊNCIA

ILIBIO B. M., GIRARDI M. Um experimento de baixo custo com Arduino para o estudo de ondas sonoras. *A Física na Escola*, v. 18, n. 2, 2020. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol18-Num2/FnE-18-02-200503.pdf> Acesso em 20 out. 2023