



**Serviço Público Federal**  
**Ministério da Educação**  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**



Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências  
Doutorado em Ensino de Ciências

**A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E A APRENDIZAGEM DO  
CONCEITO DE RESSONÂNCIA EM TUBOS SONOROS**

**CLAUDIA SANTOS DO NASCIMENTO VILAS BÔAS**

**CAMPO GRANDE – MS**  
**2020**

CLAUDIA SANTOS DO NASCIMENTO VILAS BÔAS

A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E A APRENDIZAGEM DO  
CONCEITO DE RESSONÂNCIA EM TUBOS SONOROS

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito final para a conclusão do curso de Doutorado em Ensino de Ciências sob a orientação do Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho.

Campo Grande – MS  
2020

CLAUDIA SANTOS DO NASCIMENTO VILAS BÔAS

A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E A APRENDIZAGEM DO  
CONCEITO DE RESSONÂNCIA EM TUBOS SONOROS

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito final para a conclusão do curso de Doutorado em Ensino de Ciências sob a orientação do Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

COMISSÃO JULGADORA:

---

Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Shirley Takeco Gobara

---

Prof. Dr. Paulo Cesar de Almeida Raboni

---

Prof. Dr. João José Caluzi

---

Prof. Dr. Gilmar Praxedes Daniel

*“Se o dom que possui é o de ensinar, que  
haja dedicação ao ensino”.*

*Romanos 12:7*

## AGRADECIMENTOS

Ao término dessa jornada, após ter percorrido todo o caminho e encontrado êxito, a única pessoa a quem agradeço é a Deus. Agradeço a Ele por se fazer presente em minha vida, por meio do Espírito Santo, provando-se meu companheiro nas madrugadas diante do computador. Agradeço, também, por ter dado a mim o dom do ensino e a determinação para concluir esse trabalho, sem desistir em meio às muitas dificuldades que surgiram.

Agradeço a Deus por meu esposo Wagner, o qual, mais do que companheiro, é participante dessa conquista a qual, por vezes, almejou-a mais que eu. Se não fosse por sua compreensão, apoio e cuidado comigo, não teria se quer começado. Afinal, ele sempre foi meu maior motivador e sempre será minha maior motivação para conquistar.

Agradeço a Deus por meus pais, irmãos e parentes que compreenderam minha ausência, mesmo estando próxima, e me auxiliaram em tudo, dando a mim o suporte necessário para a realização deste projeto.

Agradeço a Deus pelas equipes das escolas onde trabalho que participaram desse momento único de minha vida com admiração e compreensão, motivando-me a concluir essa árdua caminhada.

Agradeço a Deus pelos colegas e pela equipe do programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências da UFMS, em especial ao meu orientador, professor Moacir. Foram as valiosas discussões, as quais tive durante as disciplinas feitas, que me deram base para a execução desse trabalho.

Por fim, agradeço a Deus pelo dom da vida. Esse Deus, que mesmo sendo criador e Senhor do Universo, se preocupou em realizar em mim os sonhos dele.

Por tudo isso, agradeço a Deus.

## RESUMO

Essa tese apresenta os resultados de um projeto de doutorado, o qual teve como objetivo investigar como uma atividade com materiais concretos de baixo custo pode auxiliar na atenuação de obstáculos epistemológicos à aprendizagem do conceito de ressonância. Trata-se, portanto, de uma atividade de observação e análise do fenômeno de ressonância em tubos sonoros, tendo como base o tubo de Kundt. Os alunos analisaram a formação de ondas estacionárias em dois diferentes tubos fechados e, orientados por um roteiro, explicaram como o som se propagava no interior dos tubos. A atividade possibilitou a aplicação de conceitos físicos sobre ondas e acústica na compreensão da propagação do som em tubos sonoros, utilizando esses conceitos na compreensão dos diferentes tubos sonoros encontrados em nosso dia a dia como instrumentos de sopro e até mesmo nossa laringe. Nessa pesquisa, foram analisados os resultados obtidos, fazendo uso de uma metodologia qualitativa. A análise das respostas dos alunos sugere que a atividade contribuiu para a atenuação dos obstáculos epistemológicos enfrentados pelos alunos para a aprendizagem do conceito de ressonância.

**Palavras-chave:** ressonância, tubos sonoros, som, obstáculos epistemológicos.

## **ABSTRACT**

This thesis presents the results of a PhD project that aimed to investigate how one such as conducting activities with low cost concrete materials could assist in mitigating epistemological obstacles to learning the concept of resonance. It is an activity of observation and analysis of the resonance phenomenon in sound tubes, based on the Kundt tube. Guided by a script, students analyze the formation of stationary waves in two different closed tubes and explain how the sound propagated inside the tubes. The activity allows the application of physical concepts on waves and acoustics in understanding the propagation of sound in sound tubes, using these concepts in the understanding of different sound tubes found in our daily life as wind instruments and even our larynx. In our research, we analyzed the results obtained using a qualitative methodology. We investigated the responses given by the students during the activity to the occurrence of epistemological obstacles to learning the concept of resonance in sound tubes and whether the activity contributed to a learning of this concept. The analysis of the students' responses suggests that the activity contributed to the mitigation of epistemological obstacles faced by students for learning the concept of resonance.

**Keywords:** resonance, sound tubes, sound, epistemological obstacles.

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>1 ONDAS SONORAS E SISTEMA FONADOR .....</b>	<b>21</b>
<b>1.1 Ondas Sonoras .....</b>	<b>21</b>
1.1.1 Natureza de Propagação .....	21
1.1.2 Direção de Propagação .....	21
1.1.3 Grau de Liberdade para a Propagação .....	22
<b>1.2 Ondas Periódicas .....</b>	<b>23</b>
1.2.1 Características de uma Onda Periódica .....	24
1.2.2 Equação da Onda Periódica .....	24
<b>1.3 Ondas Estacionárias .....</b>	<b>26</b>
1.3.1 Ondas Estacionárias numa Corda .....	27
1.3.2 Ondas Estacionárias em Tubos .....	28
<b>1.4 Velocidade de propagação de uma onda .....</b>	<b>29</b>
<b>1.5 O Som .....</b>	<b>31</b>
1.5.1 Fenômenos ondulatórios observados no som .....	32
1.5.2 Ressonância .....	34
<b>1.6 Qualidades do Som .....</b>	<b>35</b>
1.6.1 Altura .....	36
1.6.2 Intensidade .....	36
1.6.3 Timbre .....	37
1.6.4 Formação das notas musicais .....	37
1.6.5 Escalas Musicais .....	38
<b>1.7 Sistema Fonador .....</b>	<b>39</b>
1.7.1 Os foles .....	41
1.7.2 O vibrador (a laringe) .....	41
1.7.3. Os ressonadores .....	45
1.7.4 Articulação e Ressonância .....	46
1.7.5 Respiração.....	47



<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>49</b>
<b>2.1 A Epistemologia de Gaston Bachelard .....</b>	<b>49</b>
<b>2.2 Os Obstáculos Epistemológicos .....</b>	<b>51</b>
2.2.1 A experiência primeira .....	51
2.2.2 A generalização .....	52
2.2.3 O obstáculo verbal .....	53
2.2.4 O conhecimento unitário e pragmático .....	53
2.2.5 O substancialismo .....	54
2.2.6 O obstáculo realista .....	54
2.2.7 O obstáculo animista .....	55
2.2.8 O mito da digestão .....	55
2.2.9 A libido e o conhecimento objetivo .....	55
2.2.10 O conhecimento quantitativo .....	56
<b>2.3 Os Perfis Epistemológicos .....</b>	<b>57</b>
<b>2.4 Os Perfis Conceituais de Mortimer .....</b>	<b>59</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>61</b>
<b>3.1 Classificação das pesquisas sobre ondas sonoras .....</b>	<b>61</b>
3.1.1 Propostas de atividades práticas com materiais concretos .....	62
3.1.2 Uso do Computador .....	65
3.1.3 O uso do corpo humano .....	67
3.1.4 Física e Música .....	71
3.1.5 Aprendizagem de ondas sonoras .....	73
3.1.6 Inclusão .....	76
3.1.7 Propostas diversas sobre ondas sonoras .....	77
<b>3.2 Análise dos Resultados .....</b>	<b>79</b>
<b>3.3 Conclusões sobre a Revisão de Literatura .....</b>	<b>88</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1 Descrição da Atividade .....</b>	<b>90</b>
<b>4.2 Elaboração da atividade .....</b>	<b>91</b>
4.2.1 Primeiro Momento: Questões iniciais .....	97
4.2.2 Segundo Momento: Experimento com tubo de 45 cm de comprimento .....	100

4.2.3 Terceiro Momento: Experimento com tubo de 40 cm de comprimento.....	105
4.2.4 Quarto Momento: Aplicação do conhecimento .....	111
<b>5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>112</b>
<b>5.1 Pesquisa Piloto .....</b>	<b>112</b>
<b>5.2 Validação da Atividade .....</b>	<b>113</b>
5.2.1 Primeiro Momento: Questões iniciais .....	114
5.2.2 Segundo Momento: Experimento com tubo de 115 cm de comprimento ...	115
5.2.3 Terceiro Momento: Experimento com tubo de 40 cm de comprimento .....	115
5.2.4 Quarto Momento: Aplicação do conhecimento .....	116
5.2.5 Conclusão da Validação da Atividade .....	116
<b>5.3 Aplicação da Atividade: Primeira Turma .....</b>	<b>116</b>
5.3.1 Primeiro Momento: Questões iniciais .....	117
5.3.2 Segundo Momento: Experimento com tubo de 45 cm de comprimento .....	119
5.3.3 Terceiro Momento: Experimento com tubo de 40 cm de comprimento .....	120
5.3.4 Quarto Momento: Aplicação do conhecimento .....	122
5.3.5 Conclusão da aplicação da atividade na primeira turma .....	122
<b>5.4 Aplicação da Atividade: Segunda Turma .....</b>	<b>122</b>
5.4.1 Primeiro Momento: Questões iniciais .....	123
5.4.2 Segundo Momento: Experimento com tubo de 45 cm de comprimento .....	125
5.4.3 Terceiro Momento: Experimento com tubo de 40 cm de comprimento.....	128
5.4.4 Quarto Momento: Aplicação do conhecimento .....	131
5.4.5 Conclusão da aplicação da atividade na segunda turma .....	132
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>135</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>138</b>
<b>APÊNDICE 1 – ROTEIRO .....</b>	<b>146</b>
<b>APÊNDICE 2 – ARTIGO I .....</b>	<b>158</b>
<b>APÊNDICE 3 – ARTIGO II .....</b>	<b>184</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Velocidade do som em alguns meios .....	31
Quadro 2 – Notas Musicais .....	38

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Gráfico de Levantamento de Obstáculos Epistemológicos .....	94
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais Aspectos dos Trabalhos Analisados .....	79
Tabela 2 – Tabela de Levantamento de Obstáculos Epistemológicos .....	93
Tabela 3 – Tabela de Ocorrência de Obstáculos Epistemológicos na Segunda Turma .....	133

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma onda transversal .....	22
Figura 2 – Representação de uma onda longitudinal .....	22
Figura 3 – Representação de uma onda periódica .....	23
Figura 4 – Representação de uma onda senoidal .....	24
Figura 5 – Representação temporal de uma onda .....	25
Figura 6 – Superposição de ondas .....	26
Figura 7 – Harmônicos .....	27
Figura 8 – Tubos abertos e fechados .....	28
Figura 9 – Representação do movimento ondulatório .....	30
Figura 10 – Superposição de ondas harmônicas .....	30
Figura 11 – Fenômeno do Eco .....	32
Figura 12– Fenômeno de Refração do Som .....	33
Figura 13 – Fenômeno de Difração do Som .....	33
Figura 14 – Fenômeno de Interferência .....	34
Figura 15 – Queda da ponte de Tacoma .....	35
Figura 16 – Representação da superposição de ondas .....	36
Figura 17 – Vista do conjunto de órgãos da voz .....	40
Figura 18 – Laringe e pregas vocais .....	42
Figura 19 – Pregas fechadas e pregas abertas .....	42
Figura 20 – Corte transversal das pregas vocais .....	43
Figura 21 – Representação esquemática da faringe e da laringe .....	45
Figura 22 – Aparelho respiratório .....	48
Figura 23 – Perfil epistemológico da nossa noção de massa .....	57
Figura 24 – Protótipo inicial de tubo de Kundt .....	102
Figura 25 – Tubo de garrafa “pet” fechado com tampa metálica .....	102
Figura 26 – Contenção de nylon fixada na extremidade aberta .....	103
Figura 27 – Tubo de Kundt feito de garrafa “pet” e bolinhas de isopor vibrando com onda sonora de 183Hz .....	103
Figura 28 – Montagem do dispositivo utilizado no segundo momento da atividade proposta .....	104

Figura 29 – Garrafas pet para confecção de tubos sonoros .....	106
Figura 30 – a) Círculo de papelão .....	107
Figura 30 – b) Círculo de embalagem longa vida .....	108
Figura 31 – Dispositivo de tubo sonoro, constituído por um tubo de garrafa pet, um êmbolo de papelão e uma fonte sonora contida em um celular, posicionada na base do tubo .....	109
Figura 32 – Representação das ondas estacionárias feita por estudante .....	113
Figura 33 – Representação da onda estacionária feita pelo aluno A08 no segundo momento da atividade .....	119
Figura 34 – Representação da onda estacionária feita pelo aluno A24 no terceiro momento da atividade .....	120
Figura 35 – Representação da onda estacionária feita pelo aluno A01 no segundo momento da atividade .....	127
Figura 36 – Representação da onda estacionária feita pelo aluno A02 no terceiro momento da atividade .....	129

## INTRODUÇÃO

Há muito tempo, sabe-se que o ensino é uma das áreas que mais precisa de atenção, pesquisa e investimento. Logo, não cabe mais na realidade dos alunos, uma aula meramente expositiva, abstrata e descontextualizada do seu cotidiano. Nesse ponto, a experimentação é um recurso poderoso para a compreensão do ambiente e da ciência que o descreve.

*Assim, os materiais concretos auxiliam na compreensão de conceitos mais abstratos.* Porém, alguns equipamentos utilizados na experimentação, em ciências, são de difícil aquisição. Além disso, a maioria deles é de custo elevado, o que inviabiliza sua aquisição e utilização por grande parte das escolas no Brasil.

Ademais, em muitos casos, o único recurso que o professor tem disponível é o livro didático. Material que geralmente não apresenta a ciência de maneira contextualizada e aplicada ao cotidiano do aluno, como sugerem os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN (BRASIL, 1999) e a Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2018) ao afirmar que o ensino deve:

Contextualizar os conteúdos dos componentes curriculares, identificando estratégias para apresentá-los, representá-los, exemplificá-los, conectá-los e torná-los significativos, com base na realidade do lugar e do tempo nos quais as aprendizagens estão situadas (BRASIL, 2018; p.16).

Inclusive, aqueles que fazem, muitas vezes, trazem conceitos distorcidos e desvinculados de qualquer aplicação prática (MONTEIRO; MEDEIROS, 1998). Isso, conseqüentemente, é transferido para o processo de ensino, prejudicando, assim, a aprendizagem.

Além desse, existem outros desafios para o ensino de ciências (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002). Alguns deles são o rompimento do senso comum, a democratização da ciência, a compreensão da ciência enquanto cultura, a incorporação dos conhecimentos atuais no ensino de ciências, e a aplicação do conhecimento produzido nas pesquisas em ensino de ciências no ambiente escolar.

Exemplo desse fato é o ensino de ondas sonoras, em especial o fenômeno de ressonância em tubos sonoros. Este, além de se tratar de um conceito abstrato para o aluno, requer um domínio mais consistente de alguns conhecimentos matemáticos. Além disso, seus experimentos possuem custos elevados para aquisição.



Uma solução, portanto, seria a utilização de experimentos feitos com materiais adaptados, de baixo custo, de fácil aquisição e que pudessem ser produzidos pelos próprios professores e alunos, tornando a aprendizagem mais fácil para o discente.

Concordamos com Borges ao afirmar que:

O importante não é a manipulação de objetos e artefatos concretos, e sim o envolvimento comprometido com a busca de respostas/soluções bem articuladas para as questões colocadas, em atividades que podem ser puramente de pensamento. (BORGES, 2002, p. 295)

Mas também é verdade que, em um ambiente escolar:

O laboratório pode proporcionar excelentes oportunidades para que os estudantes testem suas próprias hipóteses sobre fenômenos particulares, para que planejem suas ações, e as executem, de forma a produzir resultados dignos de confiança. Para que isso seja efetivo, deve-se programar atividades de explicitação dessas hipóteses antes da realização das atividades. (...) Além disso, devem encorajar a discussão aberta das limitações e suposições que permeiam cada atividade no laboratório escolar. (BORGES, 2002, p. 300)

Nesse sentido, *o problema de pesquisa se dá pelo fato de que o conteúdo de ondas, sons, tubos sonoros e ressonâncias tem conceitos consideravelmente abstratos para alunos de Ensino Médio*. Esse nível de capacidade de abstração exigido para a aprendizagem desse tipo de conceito só começa a ser estruturado durante a adolescência. Tanto que, sobre essa abstração, Vygotsky afirma que:

A abstração, considerada uma das funções psíquicas superiores, ao lado da memória lógica, atenção deliberada e a capacidade de comparar e diferenciar, representa uma capacidade mental que só tem início a partir da adolescência, sendo considerada a principal responsável pela formação de um conceito genuíno. (VYGOTSKY, 2008, p.99).

Esse baixo nível de capacidade de abstração na adolescência dá margem para o surgimento de obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 1996) à aprendizagem do conceito de ressonância. Inclusive, um dos obstáculos epistemológicos para a aprendizagem desse conceito é o verbal. Isso se deve à relação feita entre o conceito de ressonância e o nome dado ao exame médico que tem como base o fenômeno de ressonância magnética (VILAS BÔAS; SOUZA FILHO, 2018).

Além do obstáculo epistemológico verbal, o da experiência primeira também se apresenta como fator que dificulta a aprendizagem dos conceitos de ondulatória (DIOGO, 2008) e conseqüentemente de fenômenos como a ressonância.

Diante do cenário apresentado, foi proposta a seguinte questão de pesquisa: *como a realização de atividades, com materiais concretos de baixo custo, poderia auxiliar na atenuação dos obstáculos epistemológicos enfrentados pelos alunos na aprendizagem do conceito de ressonância?*

Para responder a essa questão, foi tanto elaborada, quanto testada uma atividade de observação e análise do fenômeno de ressonância em tubos sonoros, tendo como base o tubo de Kundt. Nessa atividade, os alunos analisaram a formação de ondas estacionárias em dois diferentes tubos fechados e, orientados por um roteiro, explicaram como o som se propagara no interior dos tubos.

Atividade possibilitou a aplicação de conceitos físicos sobre ondas e sobre acústica na compreensão da propagação do som em tubos sonoros. Os alunos utilizaram estes conceitos na compreensão de diferentes tubos sonoros encontrados no cotidiano, como instrumentos de sopro, canos, e até nossa laringe.

Ao realizar cada etapa da atividade os alunos tiveram a oportunidade de ampliar sua compreensão sobre o conceito de ressonância, minimizando os obstáculos epistemológicos existentes para a aprendizagem desse conceito.

Além disso, essa pesquisa caracteriza-se como uma investigação qualitativa empírica. É qualitativa, pois “os dados recolhidos são designados por qualitativos, o que significa ricos em pormenores descritivos relativamente a pessoas, locais e conversas, e de complexo tratamento estatístico” (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 16). Ademais, é empírica, por se tratar de um estudo em que as conclusões são extraídas de evidências concretas e verificáveis.

Desta forma, esse tipo de pesquisa é dedicado ao tratamento da "face empírica e fatural da realidade; produz e analisa dados, procedendo sempre pela via do controle empírico e fatural" (DEMO, 2000). Portanto, o valor desse tipo de pesquisa está na possibilidade de oferecer maior concretude às argumentações.

Por conseguinte, o objetivo desse estudo é *investigar como uma sequência de aulas práticas experimentais, com material de baixo custo, para analisar o fenômeno de ressonância em tubos sonoros, tendo como base o tubo de Kundt, pode auxiliar para a atenuação dos obstáculos epistemológicos enfrentados pelos alunos na aprendizagem do conceito de ressonância.*

Anterior a essa pesquisa de doutorado, em um projeto de mestrado, foi realizada uma pesquisa sobre a aprendizagem de ondas sonoras, na qual foi produzida e avaliada uma atividade para alunos do segundo ano do Ensino Médio (NASCIMENTO; GOBARA, 2009). Nessa pesquisa, os conteúdos de ondas e de som foram apresentados de maneira mais geral, dando ênfase para a produção do som por meio do corpo humano.

Os resultados dessa investigação mostraram que, quando os alunos foram submetidos a essa atividade, tornaram-se capazes de construir um modelo explicativo sobre os fenômenos

sonoros e sobre a produção da voz, de acordo com um modelo explicativo adequado a esse nível.

De posse disso, nessa tese de doutorado, buscar-se-á apresentar os resultados de uma pesquisa que deu continuidade à investigação sobre metodologias para o ensino do som. Contudo, agora de forma mais específica sobre o conceito de ressonância em tubos sonoros.

A estrutura dessa tese é composta por introdução; cinco capítulos, nos quais são tratados os assuntos sobre ondas sonoras, referencial teórico, revisão de literatura, materiais e métodos e análise dos resultados; conclusão; referências bibliográficas e apêndices, itens que serão descritos a seguir.

Na introdução foi feita uma abordagem sobre os principais tópicos que norteiam a tese, como a questão de pesquisa, os objetivos e a metodologia utilizada. O primeiro capítulo trata sobre as ondas sonoras e o sistema fonador. Neste, traz-se primeiramente uma abordagem dos fenômenos físicos referentes ao conteúdo de som, ondas e acústica, os quais serão utilizados na elaboração e na realização da pesquisa. No final desse capítulo, é dada ênfase maior aos tubos sonoros e às suas diferentes aplicações no cotidiano, destacando os conceitos que serão utilizados na pesquisa. Posteriormente, é feita uma observação das principais características do sistema fonador.

No segundo capítulo, o qual trata sobre referencial teórico, são discutidos os principais conceitos abordados pelo epistemólogo Gaston Bachelard, dando ênfase aos obstáculos epistemológicos elencados por ele e à sua concepção de perfil epistemológico. Também consta apontamentos sobre o perfil conceitual de Mortimer, conceitos estes que foram amplamente utilizados durante a pesquisa.

Já o terceiro capítulo aborda a revisão de literatura. Nele, evidencia-se um resumo de pesquisas que trabalharam o tema de ondas sonoras e experimentação em física. Cabe ressaltar, contudo, que não se trata de um relato do estado da arte, mas, sim, de uma discussão de como esses temas têm sido tratados nas pesquisas em ensino.

No quarto capítulo, discorre-se sobre materiais e métodos. Neste, são descritos quais foram os objetos utilizados na atividade proposta, como foram escolhidos, como se deu a observação e análise, quais foram as etapas da construção dessa atividade e como foi a sua aplicação para um grupo de alunos do ensino médio.

A análise das respostas dadas pelos alunos no roteiro da atividade está descrita no quinto capítulo chamado de análise dos resultados. Nesse capítulo, foram analisados os conceitos externados pelos alunos sobre ressonância e como a atividade contribuiu na

atenuação dos obstáculos enfrentados pelos alunos na aprendizagem do conceito de ressonância.

Em seguida, a conclusão traz uma abordagem geral dos resultados obtidos com a análise das respostas dos alunos e com uma discussão da relação que existe entre a realização da atividade e a atenuação de obstáculos epistemológicos para aprendizagem dos conceitos abordados. Nela, também é possível encontrar a resposta para a pergunta proposta em nossa questão de pesquisa, mostrando como a atividade contribuiu para a atenuação dos obstáculos epistemológicos sobre ressonância.

Por fim, finaliza-se com as referências das principais obras consultadas durante a pesquisa, as quais embasaram a construção e a análise da atividade proposta. Ademais, há três apêndices compostos pelo roteiro que orientou os alunos na realização de cada etapa da atividade e pelos artigos, já publicados na literatura, com os resultados de pesquisas anteriores que deram base para a conclusão desse projeto.

# 1 ONDAS SONORAS E SISTEMA FONADOR

Nesse capítulo, far-se-á a abordagem de alguns dos principais conceitos tratados pela física no conteúdo de acústica, os quais envolvem o fenômeno de produção e propagação de som. Em seguida, discutir-se-á sobre como ocorre o fenômeno de ressonância em tubos sonoros e quais são os principais conceitos físicos envolvidos nesse processo.

## 1.1 Ondas Sonoras

Inicialmente, deve-se partir do conceito de que o som é uma onda. A partir disso, define-se uma onda como sendo uma perturbação que se propaga, transportando energia, sem envolver transporte de matéria. Diz-se, portanto, que o som é uma onda mecânica, longitudinal, tridimensional e periódica.

Nesse sentido, deve-se definir algumas características das ondas sonoras, essenciais para a compreensão dessa tese. Assim, estas podem ser classificadas quanto à sua natureza de vibração, quanto à direção de vibração, e quanto ao grau de liberdade para a propagação (HALLIDAY; RESNICK, 1991).

### 1.1.1 Natureza de Propagação

Quanto à natureza de propagação, as ondas podem ser Mecânicas ou Eletromagnéticas. As primeiras são aquelas que não se propagam no vácuo, cujo exemplo é o som. Já as segundas são aquelas que podem se propagar no vácuo, cujo exemplo é a luz. Estas são causadas pela oscilação de campos elétricos e magnéticos que se propagam no vácuo com a velocidade da luz. Exemplo disso é o fato de que a luz do Sol chega até o planeta Terra, mesmo existindo vácuo no espaço. A velocidade da luz é aproximadamente 300.000 km/s. Inclusive, pode-se citar como outros exemplos de ondas eletromagnéticas as micro-ondas, as de rádio e as de Raios-X.

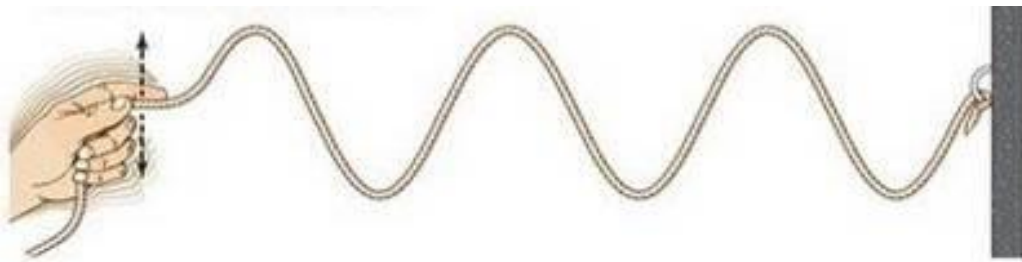
### 1.1.2 Direção de Propagação

Em relação à direção de propagação, as ondas podem ser classificadas como transversais ou longitudinais. As primeiras são aquelas que se propagam na direção

perpendicular à direção de vibração do meio, e as segundas são aquelas que se propagam na mesma direção de vibração do meio.

Um exemplo de onda transversal é uma perturbação se propagando em uma corda, como representado na Figura 1. Essa perturbação se propaga na direção horizontal, enquanto cada ponto da corda move-se para cima e para baixo, na direção vertical, fazendo com que a propagação da onda seja perpendicular – isto é, formando um ângulo de  $90^\circ$  com a direção de oscilação de qualquer ponto sobre a corda.

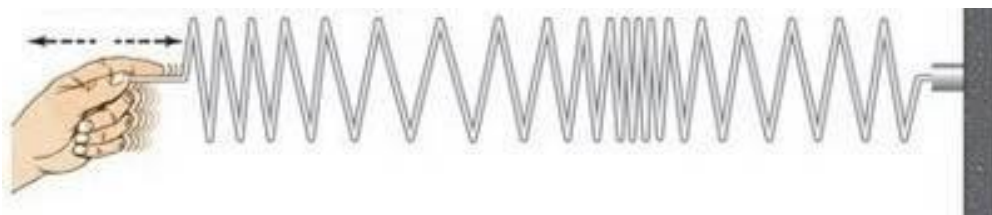
FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DE UMA ONDA TRANSVERSAL



FONTE: APARÍCIO (2010, s/p).

Por outro lado, um exemplo de onda longitudinal é a que se propaga em uma mola, como ilustrado na Figura 2. Assim, o movimento da fonte de oscilação se dá na mesma direção de oscilação das partículas as quais compõem o meio em que a onda está se propagando.

FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DE UMA ONDA LONGITUDINAL



FONTE: APARÍCIO (2010, s/p).

### 1.1.3 Grau de Liberdade para a Propagação

As ondas podem se propagar em uma, duas ou três dimensões. Dessa forma, essa característica é utilizada para classificá-las quanto ao grau de liberdade para a propagação: unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais. Assim, quando uma onda se propaga apenas em uma dimensão, sobre uma linha, ela é classificada, quanto ao grau de liberdade de

propagação, como unidimensional – como é o caso de uma onda se propagando em uma corda. Por outro lado, as ondas bidimensionais são aquelas que se propagam sobre uma superfície – como as ondas na superfície de líquidos. Já no caso das ondas tridimensionais, a propagação ocorre sobre todo o espaço – como a maneira que se dá a propagação do som no ar.

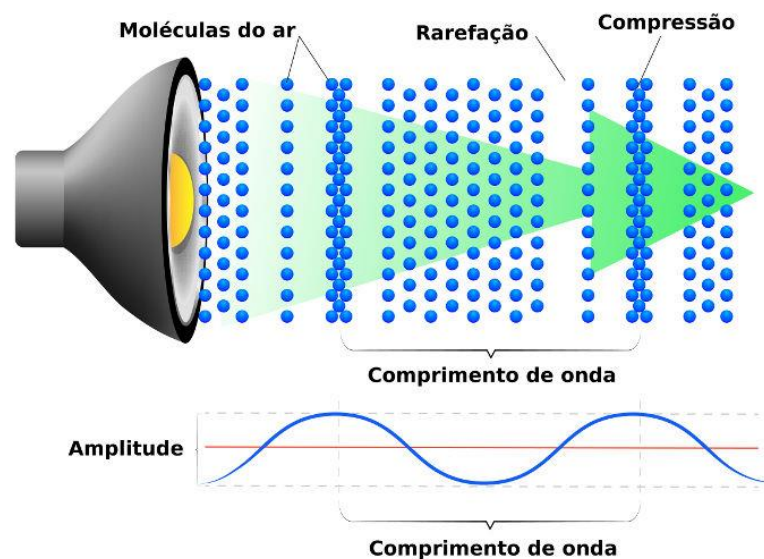
## 1.2 Ondas Periódicas

O som é uma onda periódica. Por isso, faz-se necessária a descrição do que vem a ser uma onda periódica, para, posteriormente, tratar com maior profundidade, os conceitos de ondas sonoras. Nesse sentido, deve-se observar que uma onda é gerada por uma perturbação. Logo, essa perturbação é causada por uma fonte de oscilação e propaga-se de um ponto para o outro na forma de pulsos.

Uma sucessão de pulsos regulares dá origem a uma onda regular – isso é o que chamamos de onda periódica. Portanto, trata-se de uma sucessão regular de pulsos – ou seja, o formato das ondas individuais se repete em intervalos de tempo iguais, a exemplo do que ocorre com o som.

A partir disso, considere uma onda sonora se propagando pelo ar, como mostra a Figura 3. Nela, pode-se observar que os pontos de compressão são denominados cristas, e os pontos de rarefação são chamados ventres ou depressões:

FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DE UMA ONDA PERIÓDICA



FONTE: HELERBROCK (2017, s/p).

### 1.2.1 Características de uma Onda Periódica

As principais características de uma onda periódica são amplitude, período, frequência e comprimento de onda. A amplitude ( $A$ ) da onda é o valor máximo de afastamento em relação à posição de equilíbrio do movimento de sua oscilação e está relacionada à energia que a onda transporta. Então, quanto maior a amplitude, mais energia a onda estará transportando.

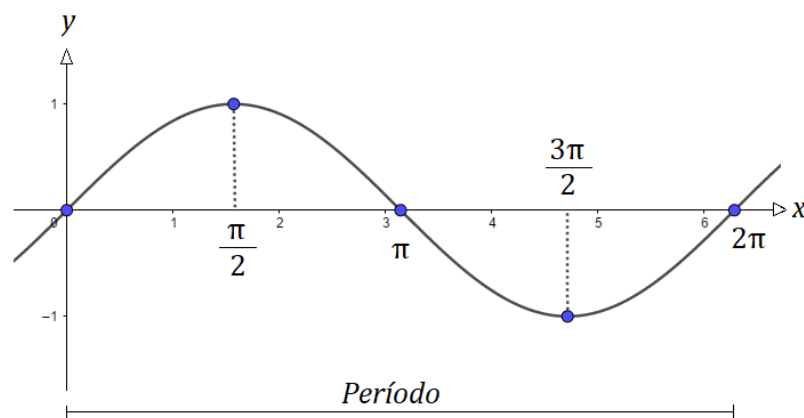
O Período ( $T$ ) é o tempo necessário, medido em segundos de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), para que se complete uma oscilação. Frequência ( $f$ ) é o número de oscilações num dado intervalo de tempo. No SI, a unidade de frequência é o Hertz (Hz). Comprimento de onda ( $\lambda$ ) é a menor distância entre dois pontos que possuem sempre a mesma direção e sentido de vibração.

É importante evidenciar que o período e a frequência se relacionam como grandezas inversas. Assim, a frequência do movimento de cada ponto do meio pelo qual se propaga a onda é, também, a frequência da onda ( $f$ ), ou seja, o número de oscilações realizadas por cada unidade de tempo. Assim:  $f = 1 / T$  (HALLIDAY; RESNICK, 1991).

### 1.2.2 Equação da Onda Periódica

Considere uma onda senoidal se propagando no sentido positivo do eixo  $x$ , como ilustrado na Figura 4:

FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO DE UMA ONDA SENOIDAL



FONTE: LESSA (2018, s/p).



Pode-se descrever o deslocamento  $y$  de um elemento da onda, situada na posição  $x$ , em um instante  $t$  genérico, como sendo:

$$y(x,t) = y_m \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1.1)$$

Nesta equação, o termo  $y(x,t)$  representa o deslocamento da onda e  $y_m$  é a amplitude da onda, em que o índice  $m$  indica máximo. A fase da onda é descrita por  $(k \cdot x - \omega \cdot t)$ , em que  $k$  representa o número de onda,  $x$  é a posição,  $\omega$  é a frequência angular da onda, e  $t$  é o tempo descrito pela oscilação.

Então, para representar o comprimento de onda  $\lambda$ , deve-se considerar o instante em que  $t=0$ . Dessa forma, a equação fica expressa por:

$$y(x,0) = y_m \cdot \text{sen}(k \cdot x) \quad (1.2)$$

Se considerar  $x = \lambda$  e que a cada  $2 \cdot \pi$  rad a função seno se repete, tem-se que:

$$k \cdot x = 2 \cdot \pi \quad (1.3)$$

Ou ainda:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{k} \quad (1.4)$$

Ademais, analisando o movimento representado pela onda, verifica-se que cada ponto descreve um movimento harmônico simples para baixo e para cima em  $x=0$ . Assim, tem-se:

$$y(0,t) = y_m \cdot \text{sen}(-\omega \cdot t) \quad (1.5)$$

O período  $T$  de uma onda é expresso considerando  $\omega \cdot T = 2 \cdot \pi$ , desta forma, tem-se:

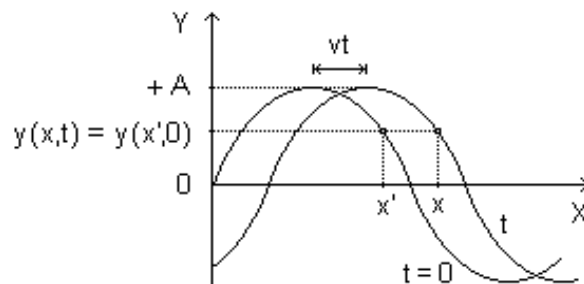
$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} \quad (1.6)$$

Considerando o fato de que o período  $T$  é inversamente proporcional à frequência  $f$  descrita pela onda, tem-se:

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \quad (1.7)$$

Logo, para analisar a velocidade descrita pela onda, deve-se considerar um deslocamento feito por ela em função do tempo, como ilustra a Figura 5.

FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO TEMPORAL DE UMA ONDA



Esse deslocamento da onda pode ser descrito na Equação 1.1, acrescentando-se uma constante de fase  $\varphi$ .

$$y(x,t) = y_m \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t + \varphi) \quad (1.8)$$

Cada ponto da onda conserva seu deslocamento  $y$ . Dessa forma, tem-se que a relação  $k \cdot x - \omega \cdot t + \varphi$  possui o seu valor constante. Logo, se derivar essa relação em função do tempo, ter-se-á que:

$$k \cdot \frac{dx}{dt} - \omega = 0 \quad (1.9)$$

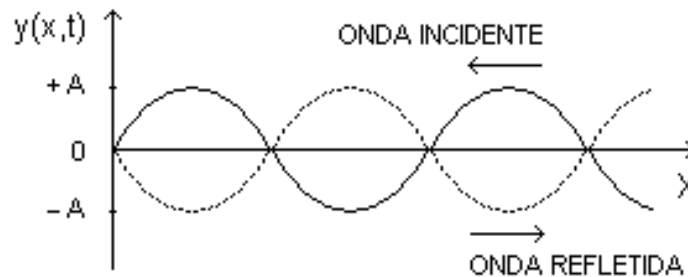
Logo:

$$v = \frac{\omega}{k} = \lambda \cdot f \quad (1.10)$$

### 1.3 Ondas Estacionárias

Duas ondas periódicas estão representadas na Figura 6. A onda incidente é representada pela linha contínua e se move no sentido negativo do eixo  $x$ , enquanto que a onda refletida é representada pela linha pontilhada e se move no sentido positivo do eixo  $x$ .

FIGURA 6 - SUPERPOSIÇÃO DE ONDAS



FONTE: PALANDI; FIGUEIREDO; PORTO; DENARDIN; MAGNAGO (2001, p. 153).

Logo, a superposição dessas duas ondas pode ser expressa pela equação 1.11 e descreve o movimento de qualquer ponto de oscilação da onda.

$$y(x,t) = y_m \cdot \text{sen}(k \cdot x + \omega \cdot t) + y_m \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1.11)$$

Se as ondas possuírem uma diferença de fase de  $\pi$  rad, uma em relação a outra, e as suas amplitudes forem iguais, ter-se-á que:

$$y(x,t) = 2 \cdot y_m \cdot \text{sen}(k \cdot x) \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (1.12)$$

Destaca-se, então, que a amplitude do movimento harmônico simples descrito por essa onda depende da sua posição em cada ponto de oscilação. Ademais, a amplitude da onda

estacionária é nula se  $k \cdot x = n \cdot \pi$ , com o número  $n$  inteiro ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ). Tendo que  $k = 2\pi/\lambda$ , pode-se dizer que:

$$x = n \left( \frac{\lambda}{2} \right) \quad (1.13)$$

De acordo com a expressão 1.12, a amplitude da onda estacionária tem um valor máximo de  $2 \cdot y_m$  se  $|\text{sen}(kx)| = 1$ . Temos que  $kx = 1\pi/2, 3\pi/2, 5\pi/2, \dots$ . Chega-se à relação em que:

$$kx = (n + \frac{1}{2}) \cdot \pi, \quad \text{em que } n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.14)$$

Considerando  $k = 2\pi/\lambda$ , tem-se que:

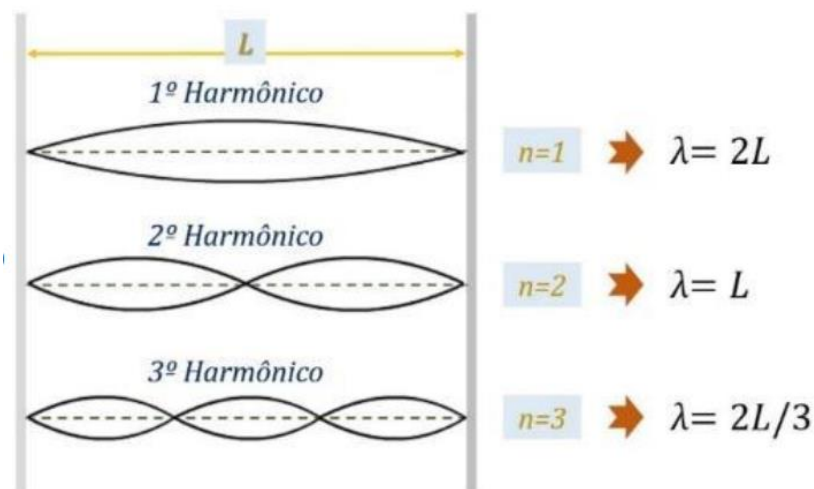
$$x = (n + \frac{1}{2}) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad \text{em que } n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.15)$$

Esses pontos representam os antinós. Estes são as posições em que a amplitude é máxima. Logo, os antinós estão separados por  $\lambda/2$  e são produzidos nos pontos médios dos nós mais próximos.

### 1.3.1 Ondas Estacionárias numa Corda

As ondas estacionárias numa corda de comprimento  $L$ , com as duas extremidades fixas, podem ter os seguintes comprimentos de onda:  $\lambda_1 = 2L$  (modo fundamental ou primeiro harmônico),  $\lambda_2 = \lambda_1 / 2 = L$  (segundo harmônico),  $\lambda_3 = \lambda_1 / 3 = 2L / 3$  (terceiro harmônico), e assim por diante. As frequências correspondentes são dadas pela expressão  $f = v_c / \lambda$ , como nota-se na Figura 7:

FIGURA 7 - HARMÔNICOS



FONTE: CENA (2017, s/p)

A corda, vibrando segundo qualquer uma de tais ondas estacionárias, produz, no ar, ondas sonoras com a frequência correspondente.

Logo, o módulo da velocidade de propagação de uma onda numa corda é dado por:

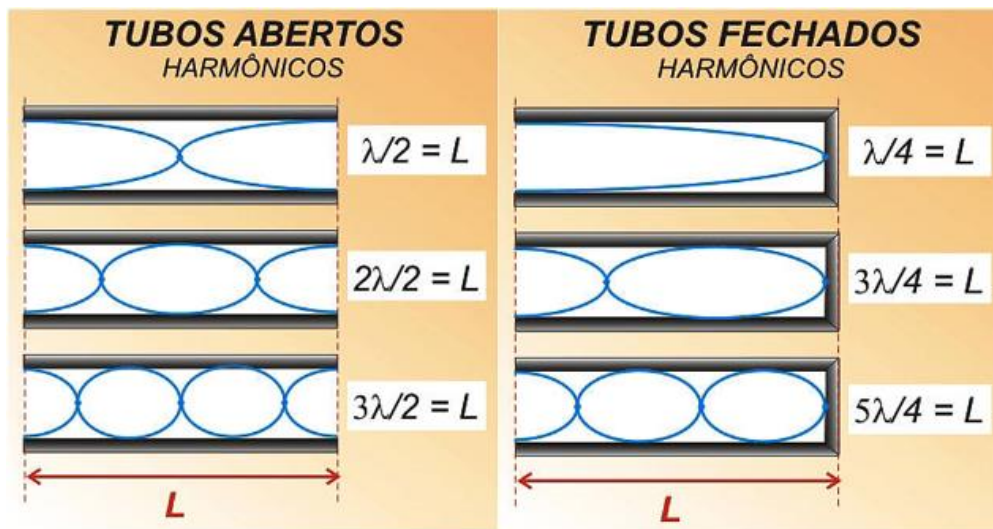
$$v_c = (F / \mu)^{1/2} \quad (1.16)$$

Em que,  $F$  é o módulo da tensão e  $\mu$ , a massa por unidade de comprimento da corda.

### 1.3.2 Ondas Estacionárias em Tubos

Nas extremidades de um tubo aberto, a onda sonora exibe ventres, isto é, regiões onde a pressão do ar é a pressão atmosférica normal. Logo, as ondas estacionárias num tubo aberto de comprimento  $L$  podem ter os seguintes comprimentos de onda:  $\lambda_1 = 2L$  (modo fundamental ou primeiro harmônico),  $\lambda_2 = \lambda_1 / 2 = L$  (segundo harmônico),  $\lambda_3 = \lambda_1/3 = 2L/3$  (terceiro harmônico), e assim por diante.

FIGURA 8 - TUBOS ABERTOS E FECHADOS



FONTE: CARVALHO (2017, s/p)

Na extremidade fechada de um tubo, a onda sonora exibe um nó, isto é, uma região de compressão máxima. As ondas estacionárias, nesse caso, podem ter os seguintes comprimentos de onda:  $\lambda_1 = 4L$  (modo fundamental ou primeiro harmônico),  $\lambda_3 = \lambda_1/3 = 4L/3$  (segundo harmônico),  $\lambda_5 = \lambda_1/5 = 4L/5$  (terceiro harmônico), e assim por diante.

### 1.4 Velocidade de propagação de uma onda

A velocidade de propagação de uma onda é uma característica do meio material. Portanto, apesar de ser imposta pelo meio material, a velocidade de fase de uma onda também estará relacionada com o comprimento de onda  $\lambda$ , e com a frequência da onda  $f$ , que é definida pela fonte. Assim, tem-se que:

$$v = \lambda \cdot f = \omega / k, \quad k = 2 \cdot \lambda / \pi \quad \text{e} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (1.17)$$

Ademais, a velocidade de propagação que foi definida é chamada de velocidade de fase. Além desta, existe também a chamada velocidade de grupo. Nesse viés, para discutir o que se entende por velocidade de grupo, deve-se considerar o exemplo da onda constituída pela superposição de duas ondas harmônicas de mesma amplitude  $A$  e de frequências angulares  $\omega'$  e  $\omega$  quase iguais:

$$y(x,t) = A \sin ( k'x - \omega't ) + A \sin ( kx - \omega t ) \quad (1.18)$$

Em que, pela identidade trigonométrica:

$$\sin A + \sin B = 2 \sin [ ( A + B ) / 2 ] \cos [ ( A - B ) / 2 ] \quad (1.19)$$

Segue-se, então, que  $y(x,t)$  pode ser escrita como:

$$y(x,t) = \phi_1(x,t) \phi_2(x,t) \quad (1.20)$$

Na qual:

$$\phi_1(x,t) = 2A \cos \{ [ ( k' - k ) x - ( \omega' - \omega ) t ] / 2 \} \quad (1.21)$$

e

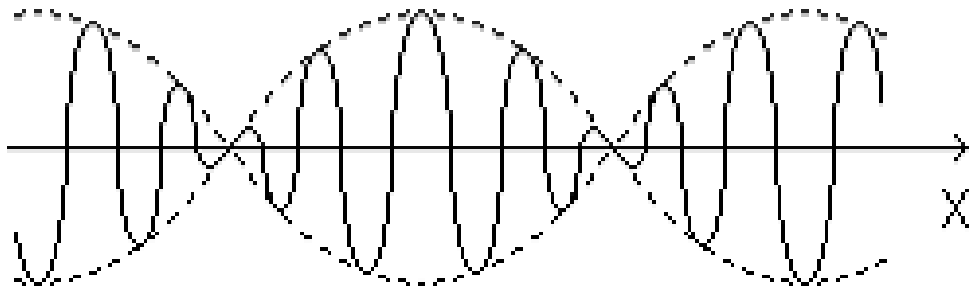
$$\phi_2(x,t) = \sin \{ [ ( k' + k ) x - ( \omega' + \omega ) t ] / 2 \} \quad (1.22)$$

Como  $\omega'$  e  $\omega$  são quase iguais, pode-se tomar  $\omega' + \omega \approx 2\omega$  e  $k' + k \approx 2k$  e reescrever a última expressão como:

$$\phi_2(x,t) = \sin ( k \cdot x - \omega \cdot t ) \quad (1.23)$$

Assim, na Figura 9, a função  $y(x,t)$  está representada pela linha contínua e o termo  $\phi_1(x,t)$ , pela linha pontilhada.

FIGURA 9 - REPRESENTAÇÃO DO MOVIMENTO ONDULATÓRIO

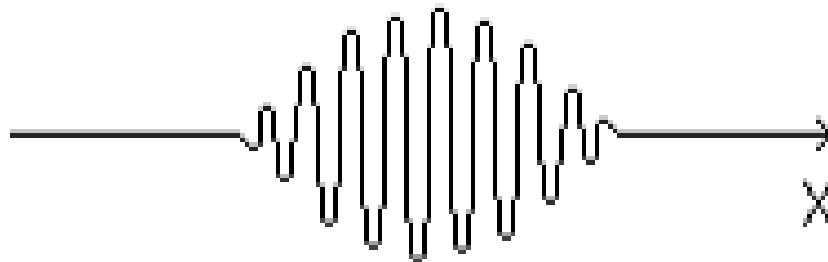


FONTE: PALANDI; FIGUEIREDO; PORTO; DENARDIN; MAGNAGO (2001, p. 154).

O movimento ondulatório, descrito pelo termo  $\phi_2(x,t)$ , tem, portanto, amplitude modulada, descrita pelo termo  $\phi_1(x,t)$ . Assim, o movimento ondulatório descrito por  $y(x,t)$  é como uma sequência de pulsos.

Ademais, a amplitude modulada corresponde a um movimento ondulatório que se propaga com a chamada velocidade de grupo, cujo módulo é dado por  $n = (\omega' - \omega) / (k' - k)$ . Um único pulso pode ser construído, superpondo-se um grande número de ondas harmônicas de comprimentos de onda e frequências diferentes.

FIGURA 10 - SUPERPOSIÇÃO DE ONDAS HARMÔNICAS



FONTE: PALANDI; FIGUEIREDO; PORTO; DENARDIN; MAGNAGO (2001, p. 154).

Se o módulo da velocidade de propagação é independente da frequência, diz-se que o meio pelo qual se propagam as ondas é não dispersivo. Num meio não dispersivo, portanto, as ondas que compõem o pulso se deslocam com velocidades de módulos iguais. Nesse caso, o módulo da velocidade do pulso (velocidade de grupo) é igual ao módulo das velocidades das ondas componentes (velocidades de fase).

Num meio dispersivo, as ondas de diferentes frequências que compõem o pulso têm velocidades de módulos diferentes. Logo, o módulo da velocidade do pulso pode não ser igual ao módulo de qualquer dessas velocidades de fase.

## 1.5 O Som

O som é uma impressão fisiológica, produzida por vibrações das ondas sonoras nos corpos, que chega ao nosso ouvido por meio da propagação dessas ondas. No vácuo, portanto, o som não se propaga. Sendo assim, nessa tese, serão utilizados os termos som e ondas sonoras como sinônimos para ampliar as discussões que serão feitas.

Essas ondas podem se propagar em sólidos, líquidos ou gases. Assim, essas perturbações se propagam fazendo com que o meio oscile gerando zonas de compressão e rarefação. Além disso, a distância entre essas duas zonas determina o comprimento de onda. No ar, a velocidade de propagação das ondas sonoras é de 330 m/s – sendo que essa velocidade em líquidos é maior do que no ar, em média é de 1.435 m/s.

Ademais, nos sólidos, essa velocidade é ainda maior, pelo fato de as partículas que compõem o meio estarem mais próximas. Então, a velocidade de propagação num meio depende da facilidade com que as partículas desse meio podem se mover: quanto menor for a facilidade que essas partículas tem para se moverem, mais rapidamente a onda se propaga (TIPLER, 2000), como pode-se ser observado no QUADRO 1.1.

QUADRO 1 – VELOCIDADE DO SOM EM ALGUNS MEIOS

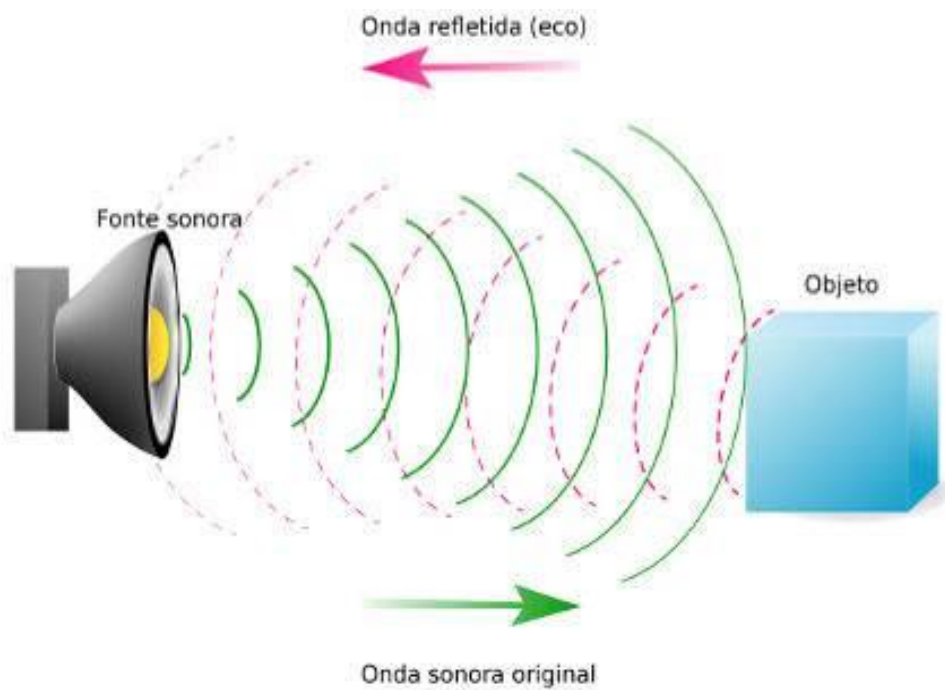
Sólidos	
Vidro (20 °C)	5130 m/s
Alumínio (20 °C)	5100 m/s
Líquidos	
Glicerina (25 °C)	1904 m/s
Água do mar (25 °C)	1533 m/s
Água (25 °C)	1493 m/s
Mercúrio (25 °C)	1450 m/s
Gases	
Hidrogênio (0 °C)	1286 m/s
Hélio (0 °C)	972 m/s
Ar (20 °C)	343 m/s
Ar (0 °C)	330 m/s

FONTE: GOUVEIA (2018, s/p).

### 1.5.1 Fenômenos ondulatórios observados no som

Quando uma onda se depara com um obstáculo e sofre reflexão, irá continuar sua propagação, porém em sentido contrário e com a mesma intensidade. Isso ocorre devido à lei da Ação e Reação. Portanto, quando a extremidade em que a onda se propaga é fixa, a reflexão ocorrerá de forma inversa à normal. Todavia, quando a extremidade for móvel ou livre, a reflexão retorna da mesma forma, sem inversão. Logo, um bom exemplo de reflexão de ondas é o eco: quando alguém fala em grandes espaços livres, onde existe um grande obstáculo, o som (que é emitido) é refletido, gerando esse efeito característico – como pode ser observado na Figura 11.

FIGURA 11 – FENÔMENO DO ECO

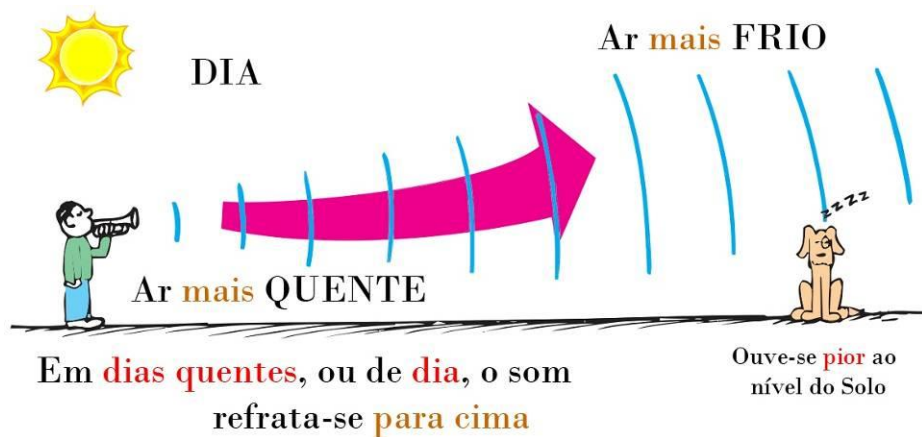


FONTE: HELERBROCK (2018, s/p).

Já quando uma onda se propaga passando de um meio para outro, ela sofrerá uma mudança de velocidade e de direção de propagação. Sendo que, esse fenômeno é chamado de refração. Portanto, quando é dito que uma onda se refratou ao passar de um meio para outro, quer-se dizer que sua velocidade foi alterada e sua direção sofreu uma mudança de sentido, passando obliquamente para o outro meio, como pode ser observado na Figura 12.



FIGURA 12 – FENÔMENO DE REFRAÇÃO DO SOM

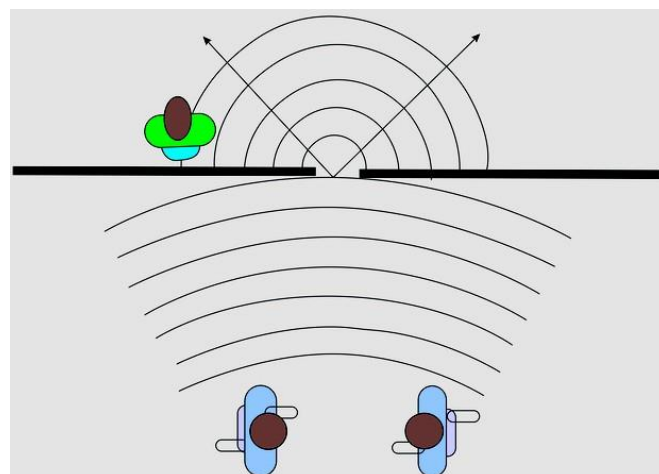


FONTE: ROSÁRIO (2012, s/p).

O outro fenômeno relativo às mudanças que ocorrem nas ondas é a difração. Um exemplo claro desse fenômeno é quando duas pessoas, separadas por um muro, conversam. Nesse caso, as ondas iriam refletir para a mesma pessoa (reflexão), ou passar pelo muro (refração), porém a intensidade seria bastante menor.

Contudo, o fato é que a pessoa do outro lado do muro escuta perfeitamente bem o que a outra diz, e isso se dá devido ao fenômeno da difração. A difração, portanto, é a propriedade que a onda possui de contornar o obstáculo e de se propagar. Logo, quanto maior o comprimento da onda, mais fácil será sua difração, já que em alguns casos de ondas muito pequenas, elas provavelmente não conseguirão se difratar, como pode-se observar na Figura 13.

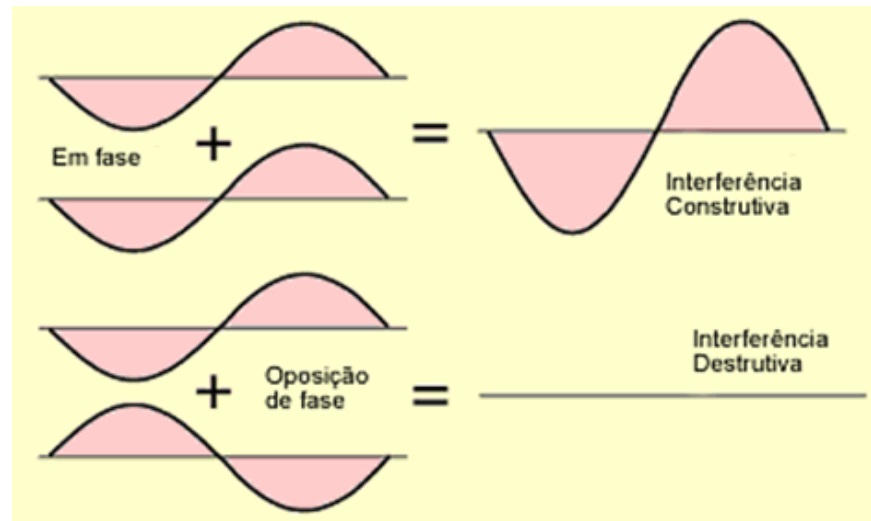
FIGURA 13 – FENÔMENO DE DIFRAÇÃO DO SOM



FONTE: SANTOS (2015, s/p).

A interferência, por sua vez, representa a superposição de duas ou mais ondas num mesmo ponto. Essa superposição pode ter um caráter de aniquilação, quando as fases não são as mesmas (interferência destrutiva) ou pode ter um caráter de reforço quando as fases combinam (interferência construtiva), como pode-se observar na Figura 14.

FIGURA 14 – FENÔMENO DE INTERFERÊNCIA



FONTE: CAVA (2016, s/p).

### 1.5.2 Ressonância

Todo corpo possui frequências naturais que dependem de suas características e são frequências em que ele normalmente pode vibrar. Se uma fonte de ondas oscila em uma das frequências naturais de vibração de um dado corpo, a energia dessa onda é transferida para esse corpo. Nesse sentido, o fenômeno de ressonância consiste no processo de transferência de energia entre essa fonte e esse corpo que se torna um sistema receptor.

Portanto, a consequência da absorção de energia da fonte por esse corpo é o aumento da amplitude de vibração de sua oscilação. Assim, um exemplo clássico desse fenômeno é a queda da ponte de Tacoma, em Washington (EUA), em novembro de 1940, após sua estrutura entrar em ressonância com um forte vento - fazendo-a vibrar em modos longitudinais ao longo do seu comprimento, como pode-se observar na Figura 15.

FIGURA 15 – QUEDA DA PONTE DE TACOMA



FONTE: PRANDEL (2014, s/p).

Outra situação, em que se encontra o fenômeno de ressonância, é no fato de uma cantora de ópera conseguir quebrar uma taça de cristal com um som agudo. A taça se quebra, quando o som emitido pela cantora tem a frequência natural de vibração da taça. Assim, esta absorve tanto a energia quanto a vibração sonora e passa a vibrar com mais intensidade até sua ruptura. O mesmo ocorre com uma criança sendo empurrada em um balanço, por exemplo. Essas duas situações, são exemplos de ressonância em sistemas mecânicos.

Inclusive, pode-se encontrar esse fenômeno no funcionamento do forno micro-ondas, que emite ondas com a mesma frequência de vibração das moléculas de água contidas nos alimentos. Quando a energia dessa onda é absorvida pelas moléculas de água, estas passam a vibrar com mais intensidade, promovendo um aumento no grau de agitação das moléculas, elevando a temperatura do alimento. Essa ressonância ocorre devido à emissão de ondas eletromagnéticas.

Por fim, outro exemplo de ressonância com onda eletromagnética é a realização de exames médicos chamados de ressonância magnética, em que é utilizado um forte campo magnético para gerar imagens de órgãos e estruturas internas do corpo humano.

## 1.6 Qualidades do Som

O som possui algumas qualidades que o definem. Dentre elas, devem-se destacar algumas, tais como altura, intensidade, duração e timbre. Nessa pesquisa, serão abordadas

com maior ênfase a altura e intensidade, sobre as quais estão descritas a seguir. Também descreveremos conceitos gerais da formação das notas musicais.

### 1.6.1 Altura

A altura do som, em Física, relaciona-se à frequência (Hz) da onda. Sons mais agudos, portanto, possuem maiores frequências, e sons mais graves possuem frequências menores. Ademais, o som mais grave audível por um ouvido humano é de aproximadamente 20 Hz e o mais agudo é de aproximadamente 20 000 Hz.

Logo, frequências fora desse intervalo não são percebidas pelo ouvido humano, mas ainda assim caracterizam ondas. Nesse sentido, as vibrações que possuem frequências maiores que 20.000 Hz são chamadas de ultrassom, e as vibrações com frequências menores que 20Hz recebem o nome de infrassom.

### 1.6.2 Intensidade

A intensidade sonora está relacionada com o volume do som. Logo, é a qualidade do som que permite ao ouvinte distinguir um som fraco (pequena intensidade) de um som forte (grande intensidade). Nesse sentido, salienta-se que essa característica é determinada pela amplitude da onda.

Com isso, ao adiantar o botão de volume de um sistema de som, está-se aumentando a intensidade do som emitido pelo aparelho – conseqüentemente, aumentando a amplitude da onda sonora emitida pelos alto-falantes. Assim, quanto maior a amplitude, maior a intensidade da onda e maior o volume do som percebido pelos nossos ouvidos.

Ademais, sons de pequena intensidade (ditos fracos) produzem pequenos aumentos de pressão, e sons de grande intensidade (ditos fortes) produzem grandes aumentos de pressão sobre o tímpano do ouvinte. Logo, as diferentes pressões sobre o tímpano é que permitem ao ouvinte comparar sons fortes e sons fracos. Assim, para o cálculo da intensidade sonora (I), tem-se que:

$$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1.24)$$

Nessa equação, P é a potência da fonte sonora e r é o raio da casca esférica descrita pela onda sonora. Para uma frequência de 1000 Hz, o ouvido humano pode detectar sons com uma intensidade que varia, aproximadamente, de  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> (limiar da audição) a 1W/m<sup>2</sup>

(limiar da dor). Logo, em virtude do tamanho desse intervalo, para expressar a intensidade de um som, utiliza-se o Nível de Intensidade Sonora, dado em decibel (dB), definido por:

$$\beta = 10\log(I / I_0) \quad (\text{dB}) \quad (1.25)$$

Em que  $I$  é a intensidade do som e  $I_0$  é o nível de referência tomado como limiar da audição.

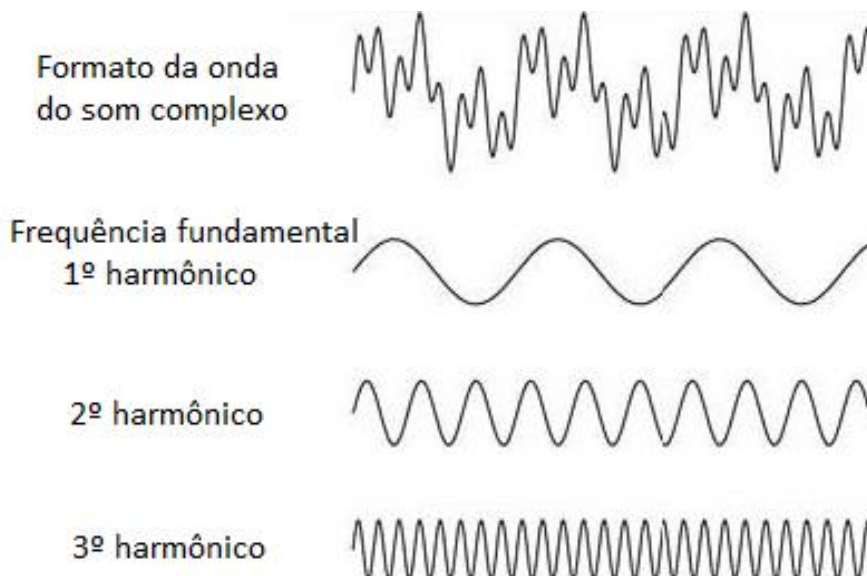
### 1.6.3 Timbre

Duas ondas sonoras podem ter a mesma frequência fundamental, mas se forem emitidas por fontes diferentes, terão harmônicos também diferentes. Assim, essa diferença entre os harmônicos produzidos por cada fonte sonora dá uma identidade única para cada som percebido. Portanto, isso permite distinguir sons emitidos por diferentes fontes, mesmo que eles tenham a mesma frequência fundamental e, a essa identidade, dá-se o nome de timbre.

### 1.6.4 Formação das notas musicais

Quando uma corda é posta a vibrar, desenvolve-se nela uma onda complexa que é a superposição do modo fundamental, com uma série de harmônicos superiores. Assim, uma nota musical é a onda sonora desenvolvida no ar por essa onda complexa, como pode-se observar na Figura 16.

FIGURA 16 - REPRESENTAÇÃO DA SUPERPOSIÇÃO DE ONDAS



FONTE: CASTRO (2015, s/p).

O mesmo vale para uma coluna de ar dentro de um tubo ou para uma membrana. A nota é musical, ou seja, agradável ao ouvido humano, porque as frequências das componentes (o modo fundamental e os harmônicos) guardam entre si relações matemáticas simples. Caso contrário, a onda sonora seria associada a um som desagradável (ruído).

De qualquer forma, é a frequência do modo fundamental que define a nota e isso pode ser notado, por exemplo, independentemente dos harmônicos que possam se somar ao modo fundamental. Logo, se esse tem uma frequência de 256 Hz, a nota é chamada Dó.

### 1.6.5 Escalas Musicais

Uma escala musical é uma sucessão de notas de frequências crescentes cujas relações têm efeito agradável ao ouvido humano. Assim, quando a frequência de uma nota é o dobro da outra, diz-se que essas duas notas estão separadas por uma oitava. Ademais, dentro desse intervalo, existem as subdivisões que dão origem às notas que compõem a oitava. Inclusive, por exemplo, na escala diatônica maior, as frequências das notas, compreendidas numa oitava, obedecem às seguintes relações matemáticas entre suas frequências, como pode-se observar no Quadro 2.

QUADRO 2 - NOTAS MUSICAIS

<b>Dó</b>	<b>Ré</b>	<b>Mi</b>	<b>Fá</b>	<b>Sol</b>	<b>Lá</b>	<b>Si</b>	<b>Dó</b>
<b>1</b>	<b>9/8</b>	<b>5/4</b>	<b>4/3</b>	<b>3/2</b>	<b>5/3</b>	<b>15/8</b>	<b>2</b>

FONTE: RAMALHO; GIOIA (2014, s/p).

Além disso, deve-se evidenciar que os instrumentos musicais fazem vibrar o ar de diversas maneiras. Assim, o violão e o piano, por cordas; a flauta, por uma borda pontiaguda; o saxofone, por uma lingueta flexível no caminho do ar soprado; o tambor, por uma membrana etc. Nesse sentido, uma corda comprida dá uma nota mais grave do que uma corda curta. Assim, no violão e no violino, a nota desejada é obtida diminuindo-se apropriadamente o comprimento da corda com os dedos de uma das mãos.

No caso de um piano ou de uma harpa, existem cordas com todos os comprimentos correspondentes às notas do instrumento. Por outro lado, como a altura da nota produzida por uma corda depende também, além do seu comprimento, da tensão e da massa por unidade de

comprimento. Assim, as cordas são esticadas por tensões diferentes e/ou têm diâmetros diferentes.

Ademais, um tubo comprido dá uma nota mais grave do que um tubo curto. Assim, a nota desejada é obtida controlando-se o comprimento efetivo do tubo, fechando alguns orifícios – como no caso de uma flauta – e abrindo – como no caso de um saxofone – ou movendo uma vara em forma de U – como no caso de um trombone. No caso de um órgão, existem tubos com os comprimentos correspondentes às notas do instrumento.

Por fim, depois de se ter descrito alguns dos principais conceitos das ondas sonoras, a seguir, serão abordadas as características que definem como a voz é produzida pelo sistema fonador. Portanto, a intenção não é abordar detalhes específicos de fisiologia da voz, mas, sim, por meio das características fisiológicas do sistema fonador, compreender conceitos físicos de som, de tubos sonoros e da ressonância ocorrida no corpo humano.

## 1.7 Sistema Fonador

O sistema fonador é responsável pela produção do som no corpo humano e é composto por órgãos do sistema digestor e respiratório (GUYTON, 1986).

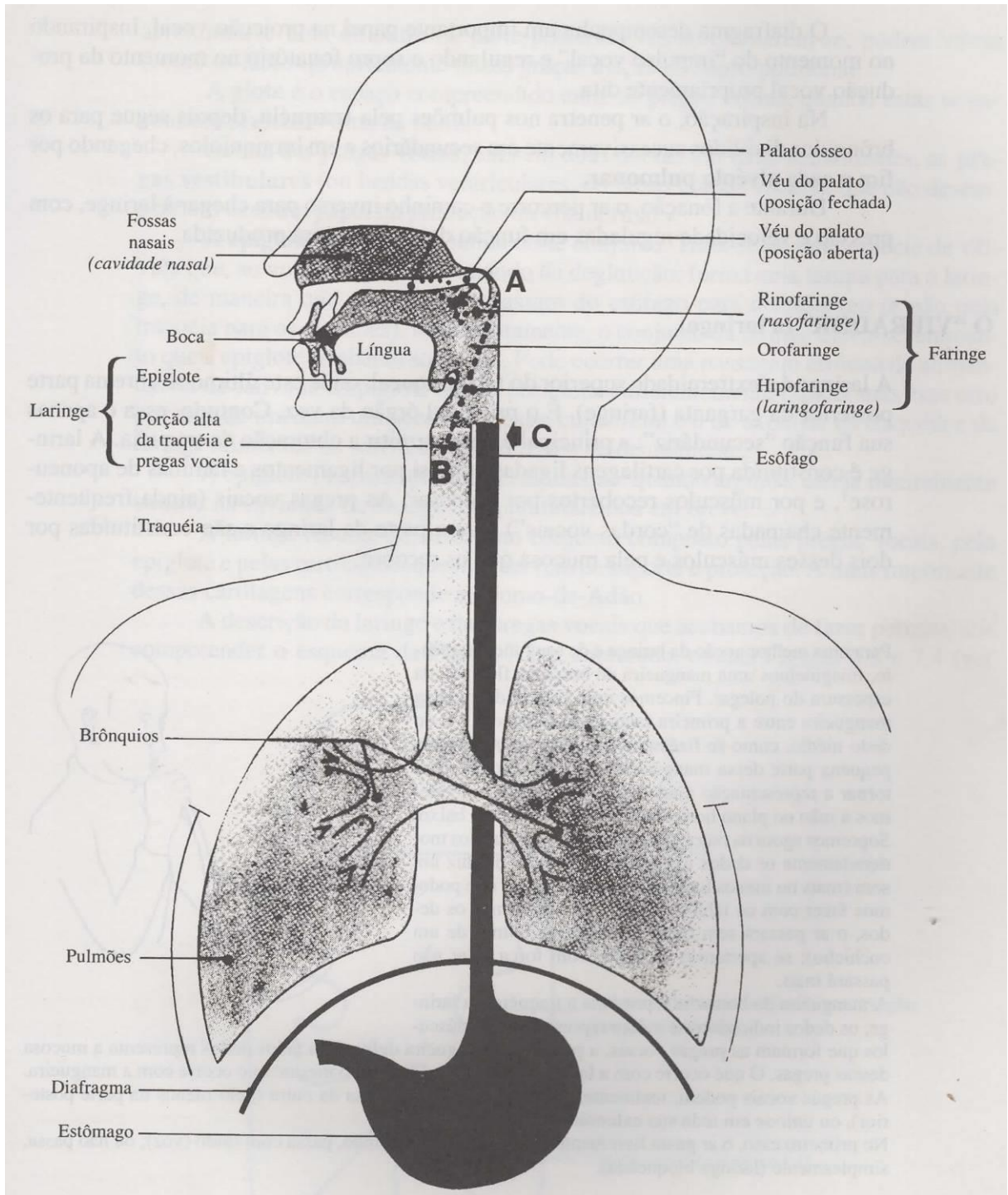
No sistema digestor, tem-se os lábios, que possuem as funções de conter os alimentos na boca e de fazer a articulação de sons bilabiais, como os compostos com as consoantes *b*, *p* e *m*, e sons labiodentais, como os formados pelas consoantes *f* e *v*.

Ademais, no sistema digestor, também tem-se os dentes, que trituram os alimentos e ecoam o som; a língua, que direciona o alimento para o estômago e participa de todos os sons produzidos; o palato duro, que dá suporte a língua e projeta a voz; e a faringe, que direciona o ar para os pulmões e os alimentos para o estômago, além de atuar no processo de fonação, como caixa de ressonância.

No sistema respiratório, por sua vez, encontram-se as cavidades nasais, que além de filtrar, aquecer e umedecer o ar, também atuam como caixa de ressonância, amplificando o som; a faringe, que é uma via de passagem de ar a qual também amplia o som; a laringe, uma via de passagem de ar que atua como vibrador e contém as pregas vocais.

Além disso, há a traqueia, via de passagem de ar que oferece defesa à via aérea e suporte para vibração das pregas vocais; os pulmões, responsáveis pelas trocas gasosas, além de servirem como reservatório de ar para a vibração das pregas vocais; e o diafragma, que desencadeia o processo respiratório e produz a pressão no ar que sai, como pode-se observar na Figura 17.

FIGURA 17 - VISTA DO CONJUNTO DE ÓRGÃOS DA VOZ



FONTE: HUCHE; ALLALI (1999, p. 33).

Assim, o sistema fonador é dividido em três partes: os foles, o vibrador e os ressonadores.



### 1.7.1 Os foles

Quando respiramos, os pulmões ficam cheios pela ação dos músculos inspiradores e se esvaziam pelo simples retorno desses músculos ao repouso. Mas, na fonação, a expiração é ativa: o ar é expulso dos pulmões pela ação dos músculos expiradores. Assim, a expiração ativa necessária à produção da voz chama-se *sopro fonador* (HUCHE; ALLALI, 1999).

Logo, quando a voz é projetada corretamente, a expiração perde sua característica de sopro e assume a qualidade de vibração. O sopro fonador, então não é sempre produzido da mesma maneira. Assim, ele pode ser produzido pelo abaixamento da caixa torácica (sopro torácico superior); pode ser produzido pela ação dos músculos abdominais (sopro abdominal); e, às vezes, pode fazer uso da flexão torácica (dorso arredondado) – é o que ocorre na voz de insistência ou de alerta e no comportamento de estresse vocal.

O ar, por sua vez, é a matéria-prima da voz. Por isso, para que haja a produção da voz, é necessário armazenar o ar dentro dos pulmões, pois a emissão do sopro fonador é precedida de um impulso respiratório. Ademais, o diafragma, músculo inspirador principal, é uma lâmina muscular em forma de calota que separa o tórax do abdome. Acima dele, situam-se coração e pulmões, abaixo, as vísceras do abdome: estômago, fígado, baço, intestino. O diafragma, portanto, desempenha um importante papel na projeção vocal, produzindo o impulso vocal e regulando o sopro fonador no momento da produção da voz.

Na inspiração, então, o ar penetra nos pulmões pela traqueia, depois segue para os brônquios – divididos sucessivamente em secundários e em bronquíolos – chegando, por fim, a cada alvéolo pulmonar. Durante a fonação, o ar percorre o caminho inverso para chegar à laringe, com pressão e velocidade reguladas em função da voz que será produzida.

### 1.7.2 O vibrador (a laringe)

A laringe está especialmente adaptada para agir como um vibrador. Conceitualmente, diz-se que ela é um tubo com as funções de respiração, fonação e proteção das vias aéreas. No adulto, possui cerca de 5 cm de comprimento, no sexo masculino, sendo um pouco menor no sexo feminino, como pode-se observar na Figura 18.

FIGURA 18 - LARINGE E PREGAS VOCAIS

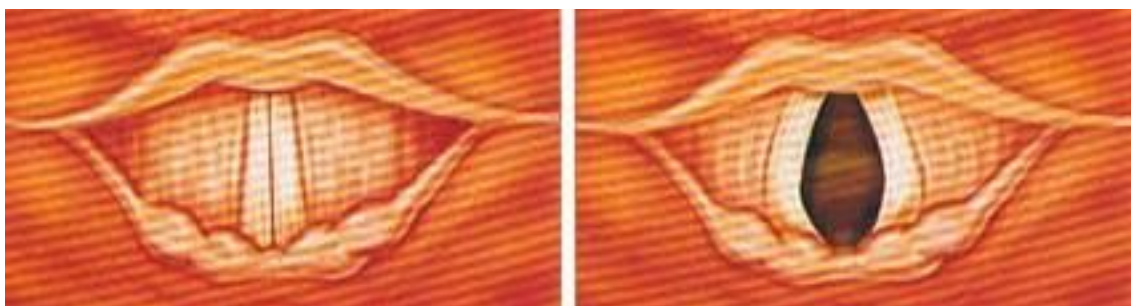


FONTE: FÉLIX (2019, s/p).

Além disso, a produção do som se origina na laringe como um tom fundamental, que é então modificado por várias cavidades de ressonância acima e abaixo da laringe. Logo, o som é finalmente convertido em voz por ação da faringe, língua, palato, lábios e estruturas relacionadas.

Ademais, a frequência fundamental do som é produzida por vibrações das chamadas cordas vocais – que na realidade são *pregas vocais* – situadas ao longo das paredes laterais da laringe, estiradas e posicionadas por vários músculos específicos, no limite da própria laringe (OKUNO; CALDAS; CROW, 1982), como pode-se notar na Figura 19.

FIGURA 19 - PREGAS FECHADAS E PREGAS ABERTAS



(Emissão de som)

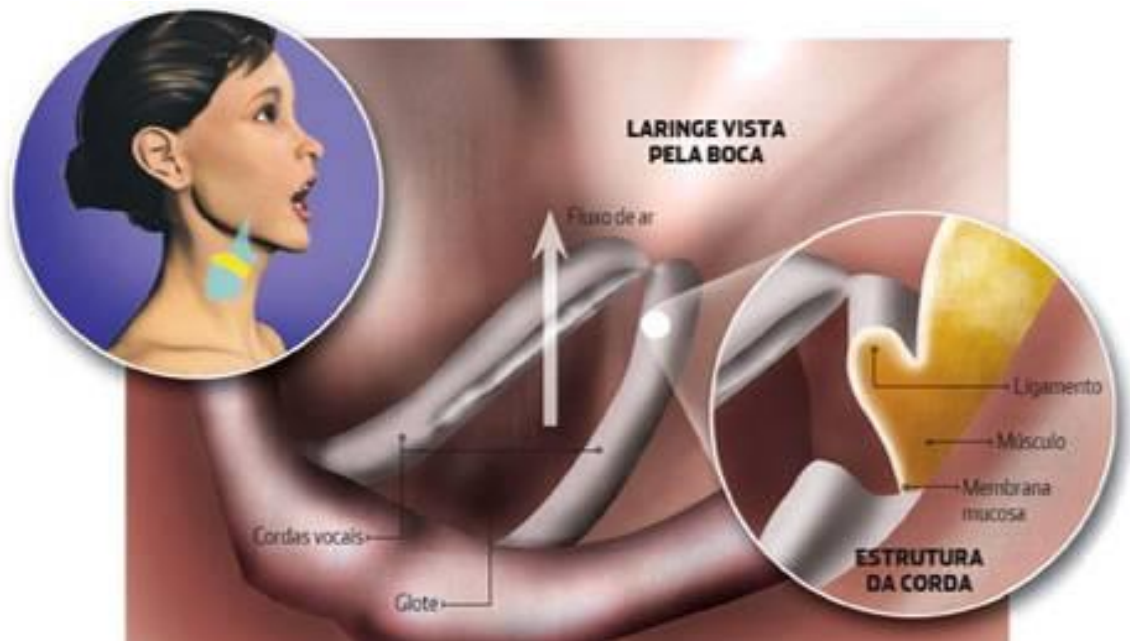
(Apenas passagem de ar)

FONTE: INSTITUTO CIÊNCIA HOJE (2019, s/p).

As pregas vocais são compostas por três partes, as quais permitem o ser humano produzir diversas frequências. Assim, no centro de cada prega, há um ligamento parecido com uma corda e, na parte interna dos ligamentos, há músculos contráteis – pequenas tiras de músculos, controladas separadamente por fibras nervosas diferentes.

Ademais, as tiras de músculos próximas às extremidades das pregas vocais podem contrair-se separadamente daquelas próximas à parede da laringe e de outras porções individuais desses músculos. Inclusive, cerca de 90% do volume das pregas vocais é composto por tecidos musculares, sendo que essas tiras são totalmente revestidas por uma membrana mucosa bastante flexível, como se pode observar na Figura 20.

FIGURA 20 - CORTE TRANSVERSAL DAS PREGAS VOCAIS



FONTE: R.S.A.B. (2008, p. 62).

Deve-se evidenciar, então, que a superfície macia e flexível da membrana exterior oscila como resultado da passagem do fluxo de ar que vem de baixo, expirado pelos pulmões com o auxílio de alguns músculos torácicos. Assim, as pregas vocais vibram entre si, perturbando o ar com vibrações, produzindo a voz.

Ademais, a tensão do ligamento aumenta rapidamente com o alongamento feito pelos músculos que movimentam as cartilagens anexas às pregas, o que facilita a produção de frequências mais altas. Logo, ao se contrair, o músculo da prega vocal consegue aumentar a tensão, com isso, ele gera uma variação de frequência ainda maior.

Essas contrações controlam o formato das pregas vocais, se grossas ou finas, e ajudam a controlar a tensão das pregas durante os diferentes tipos de fonação. Assim, a contração maior ou menor dos músculos influencia na qualidade da voz, e esta depende dessas modificações físicas ocorridas nas pregas vocais.

Além disso, a frequência de vibração das pregas vocais depende da massa efetiva e da tensão da parte vibratória da prega vocal. No homem, a frequência fundamental típica é cerca de 125Hz, acompanhada de diversos harmônicos, que são as frequências múltiplas superiores à emitida com maior amplitude, chamada frequência fundamental.

Por outro lado, em geral, as pregas vocais da mulher possuem menor massa e são mais curtas, por consequência, a frequência fundamental típica da mulher é cerca de 250Hz – podendo ser alterada por meio de variação na tensão das pregas vocais. Inclusive, a área em contato das duas pregas vocais varia de acordo com a entonação. Em tons baixos, a área em contato é grande. Elevando-se o tom, a prega torna-se mais fina (delgada) e a área de contato é menor.

Deve-se notar, também, que as pregas vocais não vibram na mesma direção do fluxo de ar. Ao contrário disso, elas vibram lateralmente, cuja causa se deve ao fato de que, quando as pregas vocais são aproximadas e o ar é expirado, a pressão do ar, proveniente de baixo, primeiro empurra e separa as pregas vocais, o que permite o fluxo rápido de ar entre as suas margens.

A seguir, o fluxo rápido de ar cria, imediatamente, um vácuo parcial entre as pregas vocais, que tende a aproximá-las novamente, o que faz parar o fluxo de ar. Surge, então, uma pressão através das pregas, e estas se abrem novamente, persistindo, assim, em um padrão de vibração.

Acima das pregas vocais, contudo, existem duas dobras um tanto semelhantes. Estas são as pregas vestibulares (ou bandas ventriculares, ou falsas cordas vocais), que não desempenham nenhum papel na produção da voz normal. Ademais, a glote é o espaço compreendido entre as pregas vocais, quando estas se encontram afastadas uma da outra.

A epiglote encontra-se acima desse conjunto e trata-se de uma espécie de válvula que, ao voltar-se para trás – quando há deglutição – forma uma tampa para a laringe, de maneira que os alimentos passam do esôfago para o estômago (e não pela traqueia para os pulmões).

Mais exatamente, observa-se que o conjunto da laringe se eleva, enquanto que a epiglote se abaixa sobre ele. Assim, não raro, pode ocorrer uma passagem errônea de alimentos ou da saliva se a epiglote não se posiciona suficientemente rápido. Contudo, esse erro provoca de imediato um acesso de tosse, cujo efeito é o de expulsar da traqueia e da laringe alimentos ou saliva ali introduzidos acidentalmente.

Por fim, a epiglote faz parte da laringe, ainda que, quando erguida, esteja inteiramente situada na cavidade da faringe. A laringe resume-se, afinal, ao conjunto composto pelas

pregas vocais, pela epiglote e pelas cartilagens que lhes servem de suporte e proteção – para os homens, a mais importante dessas cartilagens corresponde ao pomo-de-adão.

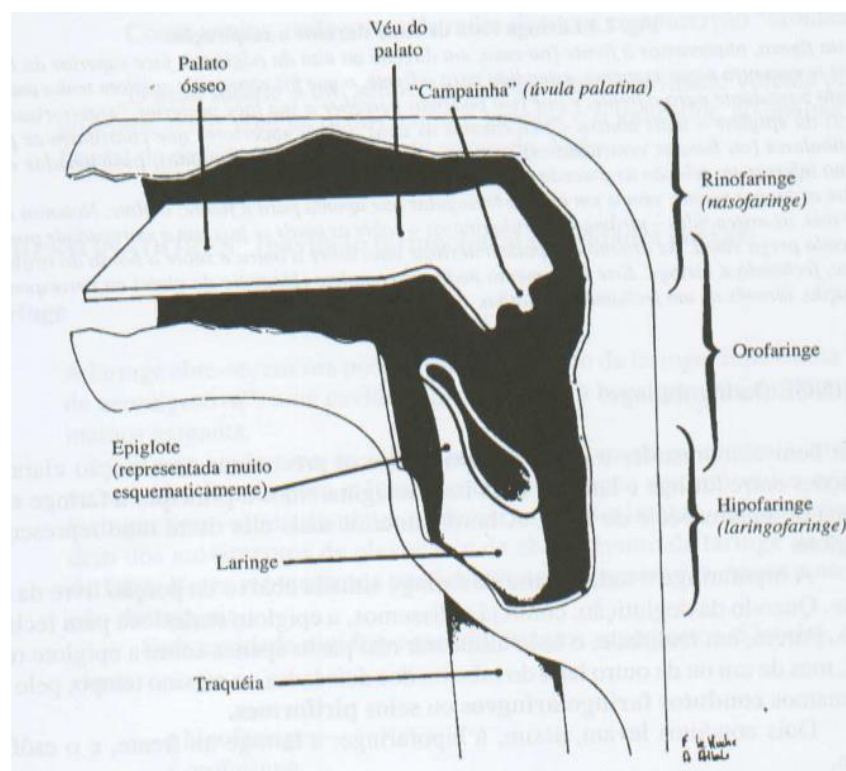
### 1.7.3. Os ressonadores

Os órgãos ressonadores são compostos pelo pavilhão faringobucal e as cavidades anexas. A laringe abre-se, então, em sua porção superior, dentro da faringe. Essa é uma encruzilhada aerodigestiva: uma cavidade que se segue à boca, por trás da língua, a que chamamos garganta.

Trata-se de uma cavidade muscular capaz de se contrair lateralmente ou no sentido de trás para frente, mediante a ação dos músculos constritores da faringe e seu volume também pode variar verticalmente. Essas variações dependem dos movimentos de elevação e de abaixamento da laringe, sendo que eles participam de maneira muito importante na articulação das vogais.

Essa cavidade, portanto, divide-se em três estágios superpostos. São eles, de baixo para cima, a hipofaringe, a orofaringe, e a rinofaringe (nasofaringe), como se pode observar na Figura 21.

FIGURA 21 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA FARINGE E DA LARINGE



FONTE: HUCHE; ALLALI (1999, p. 38).

Contudo, ainda fazem parte deste grupo a boca, que possui funções distintas como, mastigação, deglutição, articulação da fala e mímica, sendo que, estas diversas funções são ligadas umas às outras. Assim, a boca é o principal ressonador, juntamente com a faringe, e principal articulador.

#### 1.7.4 Articulação e Ressonância

Para uma boa comunicação, é fundamental que haja uma boa articulação dos sons produzidos. Nesse sentido, os três órgãos principais da articulação são os lábios, a língua e o palato mole. Ademais, a fonética (ou fonologia) estuda os fonemas, que são os sons emitidos pelo corpo humano para efetivar a comunicação. Para isso, ela conta com a distinção entre as vogais e as consoantes.

As vogais, portanto, são os sons formados pelas vibrações das pregas vocais e modificados segundo a forma das cavidades na parte superior da laringe, sendo que não há obstáculo para a saída do ar, a não ser as pregas vocais. Além disso, as vogais são a base para a formação de sílabas. Já que, em língua portuguesa, não há sílaba sem vogal. As consoantes, por outro lado, são obstáculos a corrente de ar.

Nesse sentido, as vogais existentes na língua portuguesa são “a”, “e”, “i”, “o”, “u”. Sendo que, os fonemas emitidos, quando pronunciamos essas vogais, podem ser: abertos: *a* (língua com posição muito baixa); semiabertos: *é, ó* (língua com posição baixa); semifechados: *ê, ô* (língua com posição média); fechados: *i, u* (língua com posição alta) e nasais: *ã, õ* (língua com posição muito alta).

Para cada um desses fonemas, tem-se uma configuração para o trato vocal – um tubo flexível limitado entre as pregas vocais, até os lábios e as narinas. Assim, a configuração do trato vocal é fundamental na formação de cada fonema. No caso das vogais fechadas, o estreitamento do trato vocal possibilita uma maior amplitude e qualidade no registro em altas frequências. Já, no caso de vogais abertas, ocorre o oposto.

Além do mais, os fonemas emitidos com as consoantes são divididos em fonemas surdos e sonoros. Essa diferença pode ser notada pronunciando as consoantes “s” e “z”. No caso da consoante *s*, as pregas vocais estão relaxadas e há apenas a passagem de ar pela laringe.

Ademais, o som de chiado que se ouve é devido à perturbação causada no ar no momento em que ele rompe a barreira oferecida pelos dentes a sua passagem. Isto é o que

chamamos de fonema surdo. Já no caso da consoante *z*, as pregas vocais estão tensionadas e vibram com a passagem do ar – o que caracteriza o som de um fonema sonoro.

Por outro lado, nos sons nasais, a corrente de ar sai da laringe e entra na cavidade faríngea, na qual há uma encruzilhada: a cavidade bucal e a nasal. O véu palatino é o que obstrui ou não a entrada de ar na cavidade nasal. Assim, o fonema nasal é aquele em que o ar sai pela cavidade bucal e nasal, por exemplo, o fonema *m*. Já o fonema oral é aquele que o ar sai somente pela cavidade bucal, por exemplo, o fonema *b*.

Inclusive, há uma grande semelhança entre as consoantes *p* e *b*, em que a única diferença entre elas é que *b* é sonora, e *p* é surda. Isso explica o porquê de se usar *m* e não *n* antes de *p* e de *b*. Como os fonemas *p* e *b* são orais, com saída de ar somente pela boca, há dificuldade de pronunciarmos logo em seguida um fonema nasal, fazendo o ar sair pela boca e pelas narinas.

Nesse sentido, pode-se observar que cada fonema produzido é amplificado pelas cavidades de ressonância. Sendo que, ressonância, como já dito, é a capacidade de um objeto vibrar com a mesma frequência de outro corpo vibrante que se encontra nas proximidades – um fenômeno que pode ocorrer com praticamente qualquer sistema físico.

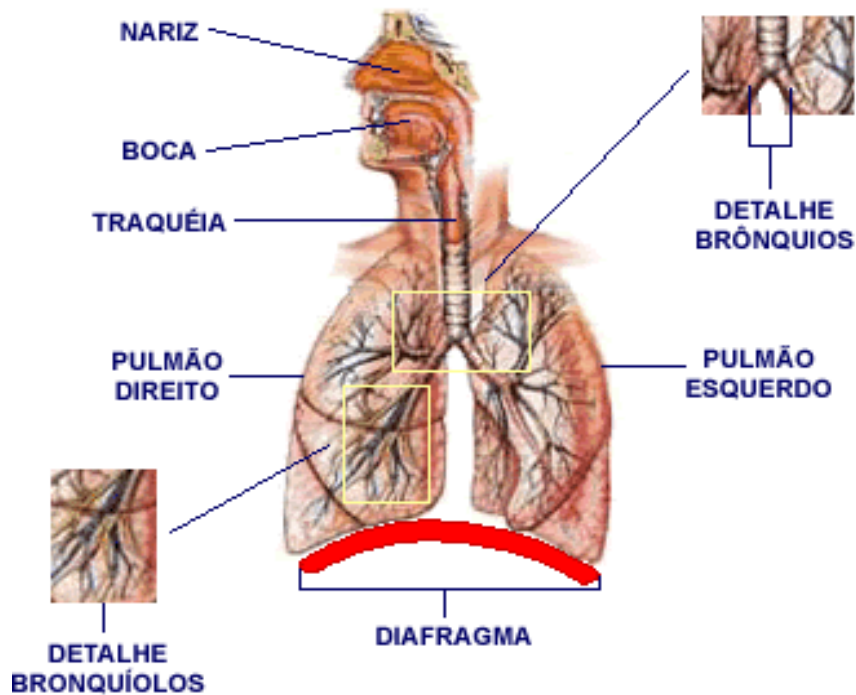
Dessa forma, os órgãos ressonadores incluem a boca, o nariz com os seios nasais associados, a faringe e, até mesmo, a própria cavidade torácica. A função dos ressonadores nasais é percebida pela mudança na qualidade da voz quando uma pessoa está com um resfriado intenso, o qual gera bloqueios às passagens de ar para esses ressonadores.

### 1.7.5 Respiração

A fonte geradora de pressão do ar é composta pela estrutura torácica, pelo músculo cartilaginoso, pelos pulmões e pela musculatura abdominal. Esse grupo de estruturas tem como função gerar uma força suficiente para mobilizar o ar contido nos pulmões para a laringe, levando em consideração que o tórax possui um total de 12 pares de costelas. Nesse sentido, há dois grupos musculares inseridos nas costelas, os intercostais internos, participantes da expiração, e os intercostais externos, responsáveis pela inspiração.

Além disso, fechando a caixa torácica inferiormente, está o músculo diafragma o qual possui a forma semelhante a uma cúpula e que, quando se contrai, empurra o intestino inferiormente. Inclusive, deve-se evidenciar que os músculos abdominais também têm a sua atuação na respiração. Assim, pode-se observar o aparelho respiratório na Figura 22.

FIGURA 22 - APARELHO RESPIRATÓRIO



FONTE: NOGUEIRA (2019, s/p).

Para que o ar entre nos pulmões, o diafragma se contrai e, ajudado pelos músculos intercostais externos, gera uma pressão interna menor que a atmosférica. Com isso, o ar é sugado para os pulmões, preenchendo-os. No momento de expirar, há um relaxamento do diafragma e dos intercostais externos, o que facilita o mecanismo elástico do tecido pulmonar e das cartilagens costais, levando o tórax à sua posição de repouso e a saída de ar dos pulmões. Por fim, a expiração pode ser ajudada pela contração dos músculos abdominais (retos, transversos e oblíquos), levando a uma expiração forçada e mais profunda (COSTA; SILVA, 1998).



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A psicologia cognitiva possui vários conceitos que nos ajudam a compreender como se constrói o conhecimento humano. Na educação, pesquisadores têm feito uma utilização cada vez maior desses conceitos, por meio das teorias de aprendizagem. Assim, no ensino de ciências, essas teorias são um recurso para tornar mais interessante a aprendizagem.

Logo, no âmbito educacional, muito se investiga sobre métodos e formas de ensino que possibilite a aprendizagem dos conceitos propostos pela Base Nacional Curricular Comum Curricular (BRASIL, 2018), para as diferentes etapas de ensino formal regular. Essas investigações têm, como base, diferentes teóricos e epistemólogos que versam sobre aspectos determinantes da aquisição e do desenvolvimento do conhecimento.

Nessa pesquisa, fizemos uso da Epistemologia de Gaston Bachelard, dos conceitos de Obstáculos Epistemológicos e Perfil Epistemológico, descritos por ele, e dos Perfis Conceituais descritos por Mortimer. Estes conceitos contribuíram grandemente para a realização de nossa pesquisa. Faremos a seguir uma discussão dos principais pontos destes conceitos.

### 2.1 A Epistemologia de Gaston Bachelard

Na busca pela melhoria do processo de ensino, encontra-se a importante contribuição dada pelo filósofo da ciência e poeta francês Gaston Bachelard (1884 – 1962). Epistemólogo, que teve suas obras direcionadas às questões da filosofia da ciência, produziu obras relevantes, como: "*A formação do espírito científico*", de 1938; "*A filosofia do não*", de 1940; "*O racionalismo aplicado*", de 1949 e "*O Materialismo Racional*", de 1952; "*A psicanálise do fogo*", de 1938.

Nessa Tese, buscar-se-á ater-se aos conceitos definidos pelo autor no livro "*A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*", com tradução para o português de 1996. Nele, Bachelard discute o fato de que alguns conceitos apresentados na história podem servir como barreiras para a aquisição do conhecimento científico, chamados de *obstáculos epistemológicos* (BACHELARD, 1996). Além disso, buscar-se-á abordar o conceito de *perfil epistemológico*, apresentado no livro "*A Filosofia do Não*" (BACHELARD, 1978).

Nesse sentido, cabe destacar que a obra de Gaston Bachelard é vasta e multifacetária. Ele próprio a classifica em duas categorias: diurna, referindo-se às obras na parte de

epistemologia e história das ciências, e noturna, tratando-se dos estudos no âmbito da imaginação poética, dos devaneios e dos sonhos. Essa classificação é externada quando afirma que: “Demasiadamente tarde, conheci a boa consciência, no trabalho alternado das imagens e dos conceitos, duas boas consciências, que seria a do pleno dia e a que aceita o lado noturno da alma” (BACHELARD, 1988, p. 52).

Ademais, Bachelard dedicou boa parte de seu trabalho à compreensão da concepção do conhecimento científico e em mobilizar cientistas e filósofos a uma ruptura do conceito de ciência, que não se limitava a uma visão dogmática de linearidade, estando nessa ruptura sua principal base ideológica.

É importante compreender que o momento histórico que Bachelard viveu apresentou uma mudança importante que se impunha à comunidade científica, em especial à Física: a teoria da relatividade e a mecânica quântica, com os trabalhos de Einstein e outros. Isso foi determinante para a inquietação e compreensão da necessidade de uma real ruptura no pensamento científico. Ele, portanto, elucidava sobre a necessidade de se perder a resistência em se viver experiências novas. Assim, para o autor:

Antes de mais, é preciso tomar consciência do fato de que a experiência nova diz não à experiência antiga; se isso não acontecer, não se trata, evidentemente, de uma experiência nova. Mas este não nunca é definitivo para um espírito que sabe dialetizar os seus princípios, constituir em si novas espécies de evidência, enriquecer o seu corpo de explicação sem dar nenhum privilégio àquilo que seria um corpo de explicação natural preparado para explicar tudo (BACHELARD, 1978, p.7).

Nesse sentido, esse desprendimento do dogma científico é necessário quando percorremos o vetor epistemológico que, segundo o autor, “vai seguramente da razão para o experimento” evidenciando sua valorização da razão. Ele entende esses dois aspectos como fundamentais, porém enfatiza que a razão se sobrepõe ao experimento. Diz-se, então, que seu pensamento vai de um racionalismo aplicado, para um materialismo racional.

O extremo racionalista é composto pelo idealismo, o convencionalismo e o formalismo abstrato das leis; em contrapartida, o extremo realista tem como base o positivismo, o empirismo e o concretismo dos experimentos. Assim, nessa evolução do pensamento:

O pensamento pré-científico não se fecha no estudo de um fenômeno bem circunscrito. Não procura a variação, mas sim a variedade. E essa é uma característica bem específica: a busca da variedade leva o espírito de um objeto para outro, sem método; o espírito procura apenas ampliar conceitos; a busca da variação liga-se a um fenômeno particular, tenta objetivar-lhe todas as variáveis, testar a sensibilidade das variáveis. Enriquece a compreensão do conceito e prepara a matematização da experiência (BACHELARD, 1996, p.11).

Logo, o conceito de erro perde seu caráter pejorativo de “equivoco a ser evitado” e ganha *status* de “validador da verdade”. Assim, a busca da ciência por uma verdade, que antes

era absoluta, dá lugar a um discurso verdadeiro, porém tendo como pano de fundo o erro (BACHELARD, 1986). Contudo, esse erro, muitas vezes, impõe uma ruptura, comumente negada no ambiente escolar.

Portanto, para Bachelard, deve-se também superar a ideia de continuidade do conhecimento científico, em que o conhecimento do senso comum se diferencia do científico apenas pelo grau de profundidade. Essa dinâmica de erro, ruptura e descontinuidade é a estrutura necessária para a superação dos obstáculos epistemológicos, os quais serão tratados a seguir.

## 2.2 Os Obstáculos Epistemológicos de Bachelard

A definição de obstáculos epistemológicos é feita por Bachelard como sendo conceitos que se colocam como fatores limitadores para o desenvolvimento do conhecimento científico. Nesse sentido, podem ser conhecimentos empíricos apreendidos no cotidiano. Logo, eles inevitavelmente são inerentes ao processo de aquisição de conhecimento e constituem-se como entraves na passagem entre o senso comum e o conhecimento científico, dificultando a aquisição do próprio pensamento científico, necessária ao seu avanço.

Assim, ao falar sobre os obstáculos epistemológicos, Bachelard afirma que:

Não se trata de obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 1996; p.17).

Nesse viés, o epistemólogo francês considera que existem corpos de conhecimentos intrínsecos ao sujeito que podem impedir o desenvolvimento do conhecimento científico e que devem superados. A partir disso, observar-se-á a seguir as características e aplicações dos obstáculos epistemológicos tratados pelo autor.

### 2.2.1 A experiência primeira

A experiência primeira constitui-se como um dos principais obstáculos elencados pelo autor. Trata-se do encantamento provocado pelos fenômenos naturais que, muitas das vezes, por serem tão surpreendentes, roubam a atenção destinada à compreensão do conceito que o gera. Assim, a experiência primeira privilegia a imagem em detrimento da ideia, e o primeiro

conhecimento constitui-se em um primeiro erro. Portanto, escapar desses obstáculos exige esforço, pois:

Ao espetáculo dos fenômenos mais interessantes, mais espantosos, o homem vai naturalmente com todas as suas paixões, com toda a alma. Não é pois de admirar que o primeiro conhecimento objetivo seja um primeiro erro. (BACHELARD, 1996, p. 68).

Ademais, a grande sedução dessa ciência é que ela não exige reflexão, mas apenas contemplação passiva, sem busca pela compreensão e elaboração de leis, restringindo-se a uma simples observação dos fenômenos. Ficar preso, à primeira vista, é uma tendência do ser humano. Logo, estes ficam presos às experiências empírico-concretas.

Para superar esse obstáculo, o professor em sala de aula deve “levar a bancada para o quadro negro”, ou seja, não se satisfazer apenas com a beleza do experimento, mas levar o estudante à compreensão da teoria que o justifica. Essa abstração do visual, portanto, leva à construção de uma ciência formal e racional, madura e reflexiva.

### 2.2.2 A generalização

O segundo obstáculo elencado por Bachelard é da generalização exacerbada e sem fundamentação. Engloba-se uma gama de fenômenos em um único grupo de conceitos, associando-os de forma arbitrária, reforçando muitas vezes um erro conceitual existente no senso comum. Esse obstáculo imobiliza o pensamento, acomoda os sentidos e dá inércia à evolução dos conceitos. Assim, segundo Bachelard:

Há de fato um perigoso prazer intelectual na generalização apressada e fácil. [...] A busca apressada da generalização leva muitas vezes a generalidades mal colocadas. [...] é possível constatar que essas leis gerais bloqueiam atualmente as ideias. Respondem de modo global, ou melhor, respondem sem que haja pergunta. [...] Então, tudo fica claro; tudo fica identificado. Mas, a nosso ver, quanto mais breve for o processo de identificação, mais fraco será o pensamento experimental (BACHELARD, 1996; p.84).

Inclusive, atualmente, o conhecimento científico apresenta aspectos opostos aos da generalização, podendo surgir a partir da definição preliminar da verdade ou da generalização de uma experiência específica para os mais variados fenômenos. Logo, o obstáculo epistemológico da generalização pode ser oriundo de uma aquisição de conceitos ou de uma formação de conceitos.

Ademais, a generalização exposta pelo professor ao estudante é vista por Bachelard como outro obstáculo epistemológico e pode dificultar o desenvolvimento do espírito científico, por ter o potencial de bloquear o caráter investigativo e curioso do estudante, tão

necessário para a descoberta e para o aprendizado. Logo, o que parecia um conhecimento geral, na verdade trata-se de um conhecimento superficial.

### 2.2.3 O obstáculo verbal

Nesse obstáculo epistemológico, ressalta-se a interferência que uma simples figura ou palavra pode causar na compreensão de um conceito. Assim, a compreensão errada dela pode potencializar uma concepção equivocada da ciência. Nesse sentido, Bachelard alerta que o obstáculo verbal está diretamente relacionado com a generalização, por induzir conceitos de diferentes fenômenos, partindo de uma única palavra ou imagem.

Outro recurso usado na compreensão da ciência, que pode se tornar um obstáculo verbal, são as metáforas e analogias. Segundo Bachelard:

O perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem (BACHELARD, 1996; p.99).

Portanto, o professor que utiliza recursos de imagens, analogias, metáforas, ou mesmo a sintetização por meio de palavras chaves, deve ter consciência de que pode levar seus estudantes a terem concepções equivocadas sobre o tema abordado e adquirirem, ao invés de conhecimento, um obstáculo epistemológico verbal.

### 2.2.4 O conhecimento unitário e pragmático

O quarto obstáculo epistemológico refere-se ao conhecimento pré-científico que se baseia na unidade para fazer inferências de reciprocidade. Nesse pensamento, tudo o que descreve o geral, pode descrever o específico; tudo o que descreve o macro, pode descrever o micro, e vice-versa. Este é o chamado obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático.

Nessa concepção, a unidade é insistentemente buscada e sua sedução está no fato de que, com ela, pode-se fazer predições sem esforço cognitivo. Assim, Bachelard afirma que:

Para o espírito científico, a unidade é um princípio sempre desejado, sempre realizado sem esforço (...). As diversas atividades naturais tornam-se assim manifestações variadas de uma só e única Natureza. Não é concebível que a experiência se contradiga ou seja compartimentada. O que é verdadeiro para o grande deve ser verdadeiro para o pequeno, e vice-versa. A mínima dualidade desconfia-se de erro. Essa necessidade de unidade traz uma multidão de falsos problemas (BACHELARD, 1996; p.103).

Porém, se ceder-se à sedução do pragmatismo e da generalização exacerbada, ter-se-á um pensamento incompleto, mutilado, preocupado apenas com conveniência de se definir um conceito de maneira sucinta, mas sem de fato defini-lo em sua completude.

### 2.2.5 O substancialismo

Quando é atribuído a um conceito características diversas, limita-se apenas ao externo, sem se preocupar com os aspectos intrínsecos do conceito, gerando um obstáculo substancialista. Para Bachelard, portanto, um obstáculo substancialista:

É constituído por intuições muito dispersas e até opostas. Por uma tendência quase natural, o espírito pré-científico condensa num objeto todos os conhecimentos em que esse objeto desempenha um papel, sem se preocupar com a hierarquia dos papéis empíricos. Atribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade manifesta como a qualidade oculta (BACHELARD, 1996; p. 105).

Ademais, para que se vença esse obstáculo, deve-se ir além da explicação breve e definitiva, que se satisfaz com apenas um vislumbre de conhecimento. Alguém que tenha um espírito científico e que busque a real compreensão de fenômenos, não pode se limitar a relações superficiais entre fenômenos e objetos. Logo, deve ir além, buscar a real justificativa para o fenômeno.

### 2.2.6 O obstáculo realista

Na ânsia de se fazer entender, algumas pessoas usam de analogias e metáforas, por meio de figuras de conceitos concretos para externar algo que é abstrato. São falas presas ao real, suprimindo a compreensão do que não é material, visível, concreto. Bachelard afirma, então, que esse pensamento é tão resistente que:

O realismo pode, com razão, ser considerado a única filosofia inata, o que não nos parece vantagem. Para aquilatá-lo, é preciso ultrapassar o plano intelectual e compreender que a substância de um objeto é aceita como um bem pessoal. Apossa-se dela espiritualmente como se toma posse de uma vantagem evidente. Siga a argumentação de um realista; imediatamente ele está em vantagem sobre o adversário porque tem, acha ele, o real do seu lado, porque possui a riqueza do real, ao passo que seu adversário, um pródigo do espírito, persegue sonhos vãos. Em sua forma ingênua, em sua forma afetiva, a certeza do realista provém de uma alegria avarenta (BACHELARD, 1996; p. 139).

Inclusive, essa avareza, descrita pelo autor, limita a evolução do espírito científico e o suprime a uma mutação de valores, em que o concreto se faz mais eficaz e conclusivo que o abstrato. Prova disso é que esse apego pelo real perdura até hoje, configurando-se em um obstáculo epistemológico encontrado regularmente em ambientes formais de ensino.

### 2.2.7 O obstáculo animista

O obstáculo epistemológico animista se evidencia quando se são atribuídas características animadas e vitais para seres inanimados. É comum, portanto, fazer uso de recursos animistas para se referenciar a fenômenos inanimados. Esse hábito, contudo, inviabiliza a abstração do estudante e limita brutalmente a formação do espírito científico:

É como obstáculos à objetividade da fenomenologia física que os conhecimentos biológicos devem chamar nossa atenção. Os fenômenos biológicos só nos interessarão, portanto, nos campos em que sua ciência falha, em que essa ciência, com maior ou menor garantia, vem responder a perguntas que não lhe são feitas. Em suma, aos entraves quase normais que a objetividade encontra nas ciências puramente materiais, vem juntar-se uma intuição ofuscante que considera a vida como um dado claro e geral (BACHELARD, 1996; p. 159).

Ademais, essa preferência pelos fenômenos biológicos dá a eles um valor que se sobrepõe às outras esferas de conhecimento, dando a ilusão de que a vitalização dos conceitos é capaz de torná-los mais próximos do estudante. Todavia, o que acontece, na maioria das vezes, é que analogias equivocadas com recursos animistas acabam por dar ao estudante uma compreensão errada do conceito.

### 2.2.8 O mito da digestão

Um fator importante para a aprendizagem é a internalização do conceito. Porém, pode criar-se uma falsa ideia de internalização do real, dando a ele um *status* de alimento, fonte de força. Assim, a digestão do conhecimento implica em tê-lo como posse:

A função de posse, que basta designar para perceber-lhe a evidência, é muito aparente em certos textos pré-científicos. [...] Essa posse é objeto de todo um sistema de valorização. O alimento sólido e consistente é mais prezado. O beber não é nada diante do comer. Se a inteligência se desenvolve ao seguir a mão que apalpa um sólido, o inconsciente se arraiga ao mastigar, de boca cheia, um prato de macarrão. É fácil perceber, na vida cotidiana, esse privilégio do sólido e da massa. Encontram-se sinais disso também em vários livros pré-científicos (BACHELARD, 1996; p. 181).

Nisso, configura-se um mito de aprendizagem e desenvolvimento do conhecimento científico, evidenciando a avareza da necessidade da posse de algo palpável, essência do mais forte realismo, servindo de obstáculo epistemológico para a evolução do espírito científico.

### 2.2.9 A libido e o conhecimento objetivo

Bachelard estabelece uma relação entre o mito da digestão e o conceito de libido, afirmando que:

O apetite é mais brutal, mas a libido é mais poderosa. O apetite é imediato; à libido, porém, correspondem os longos pensamentos, os projetos a longo prazo, a paciência. É preciso querer para tornar-se [...] O apetite se extingue no estômago saciado. A libido, mal acabou de ser satisfeita, reaparece. Ela quer a duração. Ela é a duração. A tudo o que dura em nós, direta ou indiretamente, liga-se a libido (BACHELARD, 1996; p. 195).

Para o autor, a libido consiste na evidencialização da relação do sujeito com o outro, deixando em segundo plano a relação entre o sujeito e o objeto, em que se observa o fenômeno. Essa relação sexuada dos fenômenos científicos externa uma visão sintomática da ciência com conceitos como: substância pura e impura, bom e mal, dentre outros.

#### 2.2.10 O conhecimento quantitativo

O último obstáculo epistemológico analisado por Bachelard é o obstáculo do conhecimento quantitativo. Para ele, a busca exacerbada por uma precisão, uma quantidade cada vez maior de casas decimais, por si só já se configura em um erro, visto que os próprios aparelhos de medida são passíveis de imprecisão. Assim, ele exemplifica esse fato dizendo que:

Os problemas de física propostos nos exames de conclusão do ensino secundário representam uma mina inesgotável de exemplos dessa precisão mal fundada. As aplicações numéricas são feitas sem preocupação com o problema do erro. Basta uma divisão em que “sobra resto”, contas que “não dão certo”, para que o aluno se assuste. Se desiste, acha que o mérito da solução está no número de decimais. Não raciocina para ver que a precisão num resultado, quando vai além da precisão nos dados experimentais, significa exatamente a determinação do nada. As decimais da conta não pertencem ao objeto (BACHELARD, 1996; p. 227).

Na ânsia de se buscar uma precisão ao medir, perde-se a essência do que se está medindo e qual o método usado na medição, tirando do estudante a possibilidade de se construir um senso crítico de análise do que deve ser descartado e do que deve ser levado em conta na análise quantitativa e na medição de um fenômeno.

Para concluirmos a discussão sobre obstáculos epistemológicos, destaca-se que os obstáculos que se apresentam na aprendizagem de um conceito não se restringem a epistemologia ou a evolução de um conhecimento científico. É importante também considerar os obstáculos didáticos impostos a aprendizagem deste conceito. Segundo ele:

Os obstáculos didáticos são conhecimentos que se encontram relativamente estabilizados no plano intelectual e que podem dificultar a evolução da aprendizagem do saber escolar. No que se refere ao estudo dos obstáculos didáticos, permanece o interesse de estabelecer os limites do paralelismo possível entre o plano histórico do desenvolvimento das ciências e cognitivo da aprendizagem escolar. Se a didática se dispõe a estudar o aspecto evolutivo da formação de conceitos, é conveniente admitir a flexibilização de que os obstáculos não dizem respeito somente às dificuldades históricas e externas ao plano da aprendizagem (PAIS, 2011; p.45).



Os obstáculos didáticos que surgem em uma situação de aprendizagem devem ser considerados. Não se deve limitar o estudo de obstáculos apenas à epistemologia ou à evolução de um conceito científico. O ambiente escolar pode ser fonte de diferentes obstáculos à aprendizagem de um conceito.

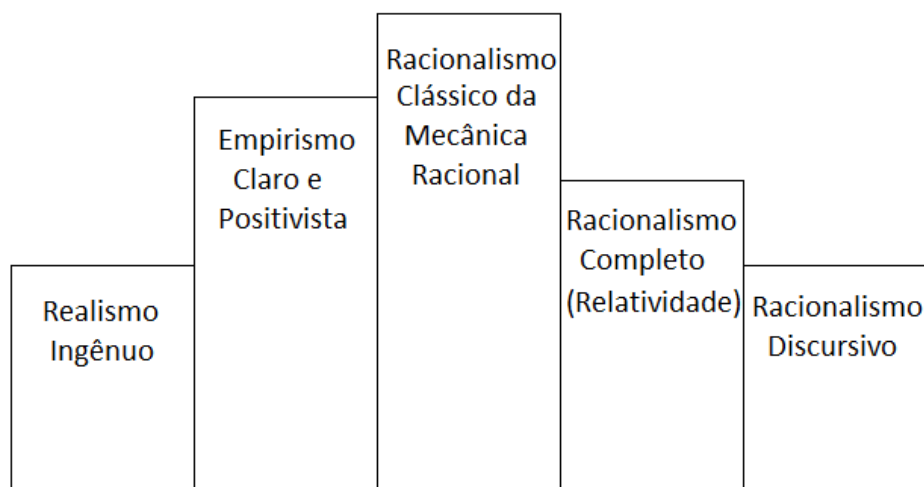
### 2.3 Os Perfis Epistemológicos de Bachelard

Além do conceito de obstáculo epistemológico, outro conceito referente à teoria de Bachelard, importante para essa pesquisa, é o de perfil epistemológico. Bachelard, em seu livro “*A Filosofia do Não*” (BACHELARD, 1978), define o perfil epistemológico como sendo o conjunto de atributos que cada sujeito possui em relação a certo conceito e em relação a certo estágio de sua cultura:

Nestas condições, parece-nos que uma psicologia do espírito científico deveria esboçar aquilo a que chamaremos o perfil epistemológico das diversas conceitualizações. Seria através de um tal perfil mental que poderia medir-se a ação psicológica efetiva das diversas filosofias na obra do conhecimento (BACHELARD, 1978; p. 25).

Esse perfil epistemológico, portanto, consiste em um espectro das filosofias que embasam o conhecimento. Cada visão que se tem sobre um determinado conceito é carregada da visão filosófica que o norteia. Bachelard, assim, destaca cinco filosofias que considera descreverem as visões epistemológicas do conhecimento, são elas: o realismo ingênuo; o empirismo claro e positivista; o racionalismo newtoniano ou kantiano; o racionalismo completo e o racionalismo dialético.

FIGURA 23 – PERFIL EPISTEMOLÓGICO DA NOSSA NOÇÃO DE MASSA



FONTE: BACHELARD (1978; p. 25).

Bachelard se coloca como ponto de análise e expõe seu próprio perfil epistemológico, dando como exemplo o espectro do conceito de massa com seu aporte filosófico, como pode-se notar na Figura 23.

Nesse exemplo, Bachelard externa, primeiramente, sua concepção sobre o conceito de massa na visão do realismo ingênuo, relacionando-a com o volume do corpo. Em segundo lugar, na visão do empirismo claro e positivista, o autor externa o conceito de massa de um corpo como sendo a quantidade de matéria que o contém, medida por um instrumento como a balança, baseando-se em uma visão empirista clara e positivista.

Depois, externa a concepção de massa clássica newtoniana utilizando o princípio fundamental da dinâmica para análise de seu módulo. Mostra também o conceito de massa relativística com base na visão racionalista completa, evocando a relação estabelecida por Einstein entre massa e energia. Por fim, expõe a visão racionalista discursiva e dialética de massa, com base na teoria de Dirac, admitindo até mesmo o conceito de antimatéria.

No entanto, destaca-se que nem sempre a divisão entre as diferentes visões é tão clara e discrepada umas das outras. Na maioria das vezes, a linha que separa as diferentes visões é tênue e nebulosa, tornando árduo o trabalho de sistematização do perfil conceitual. Por conta disso, o ideal é que ele deve ser elaborado pelo próprio sujeito que o contém, e não por um pesquisador que o investiga. Porém, isso nem sempre é possível, seja por questões logísticas do pesquisador ou limitações cognitivas do pesquisado.

Um perfil epistemológico deve ser referido a um conceito designado, válido para um espírito científico particular, e examinado em uma cultura particular. Assim, Bachelard afirma que:

Só depois de se ter recolhido o álbum dos perfis epistemológicos de todas as noções de base é que se pode estudar verdadeiramente a eficácia relativa das diversas filosofias. Tais álbuns, necessariamente individuais, serviriam de testes para a psicologia do espírito científico. Sugeriríamos, pois, de bom grado uma análise filosófica espectral que determinaria com precisão a forma como as diversas filosofias reagem ao nível de um conhecimento objetivo particular. Esta análise filosófica espectral necessitaria, para se desenvolver, de psicólogos que fossem filósofos e também de filósofos que aceitassem ocupar-se de um conhecimento objetivo particular (BACHELARD, 1978; p. 28).

Esse espectro de análise filosófica mostra uma sequência lógica no pensamento, alinhada pelo autor com os pensamentos realistas, empiristas e racionalistas. Todavia, é necessário que se passe por cada uma dessas fases, pois, se pulada alguma delas, e seguir direto para o racionalismo, corre-se o risco de ficarem limitados a um ensino puramente filosófico e pouco aplicável.

A importância de se ter a consciência da existência dessas diferentes visões é que uma única ideia filosófica não dá conta de definir um conhecimento de forma precisa. Quando vários espíritos científicos, ou várias visões, são questionados sobre um conceito específico, vê-se emergir várias filosofias destes – e cada uma delas terá apenas uma das dimensões do espectro do perfil epistemológico individual de cada sujeito.

Por fim, destaca-se a relação que Bachelard estabelece entre perfil e obstáculo epistemológico ao afirmar que:

Poderíamos relacionar as duas noções de obstáculo epistemológico e de perfil epistemológico porque um perfil epistemológico guarda a marca dos obstáculos que uma cultura teve que superar (BACHELARD, 1978; p. 30).

Com isso, concluem-se os apontamentos sobre a teoria de Gaston Bachelard e passa-se a descrever como esse referencial pode auxiliar nessa pesquisa. Por fim, deve-se observar que jamais foi uma pretensão dar ao leitor uma visão total e aprofundada dos conceitos descritos nas obras de Bachelard, nem tão pouco suprimi-los à definição de perfil ou obstáculos epistemológicos pois, segundo o próprio autor:

A noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação. Em ambos os casos, este estudo não é fácil. (BACHELARD, 1996, p. 21).

Porém, para essa pesquisa, acredita-se ser necessária uma ênfase maior nesse conjunto de conceitos da teoria.

## 2.4 Os Perfis Conceituais de Mortimer

De modo a complementar a ideia de perfil epistemológico, temos o conceito de perfil conceitual trazido por Eduardo Mortimer (1995, 2000), que está relacionado com o ensino e a aprendizagem de conceitos científicos e baseia-se na concepção de que o indivíduo pode ter diferentes interpretações de um mesmo conceito e estas interpretações podem ser independentes. Estes conceitos são capazes de abranger uma variedade de significados que podem ser utilizados em diferentes situações.

Na pesquisa em ensino de ciências, a construção de perfis conceituais seria uma ferramenta para caracterizar as diferentes formas de pensamento e linguagem no processo de ensino e aprendizagem de ciências. Este perfil conceitual leva em conta os diferentes modos de interpretação, científicos ou não, de cada indivíduo. Esses modos de pensar são descritos por zonas do perfil conceitual que podem ser hierarquizadas.

A noção de perfil conceitual tem várias as consequências para o estabelecimento de estratégias de ensino e para a análise do processo de evolução conceitual em sala de aula. Uma fase fundamental no planejamento do ensino, de acordo com essa noção,

é a determinação das categorias que constituem as diferentes zonas do perfil do conceito a ser ensinado, bem como a identificação dos obstáculos ontológicos e epistemológicos para a construção de conceitos mais avançados, presentes nas concepções mais elementares do perfil. (MORTIMER, 1996, p. 35)

A existência de um modo de pensar não necessariamente elimina o outro. A aprendizagem de um conceito não implica na extinção de um conceito pré-existente. Podemos ter significados diferentes para um mesmo conceito coexistindo e sendo utilizados de acordo com cada ambiente (MORTIMER; EL HANI, 2014).

A evolução de um perfil conceitual consiste na aquisição de novas zonas de perfil conceitual, na modificação de zonas pré-existentes, ou até na utilização de zonas pré-existentes em contextos diferentes.

A discrepância entre perfil epistemológico e perfil conceitual é que, para Bachelard, cada um dos níveis do perfil epistemológico se relaciona com escolas filosóficas de pensamento, já para Mortimer, os perfis conceituais pré-científicos não estão relacionados a escolas filosóficas de pensamento, mas estão relacionados com os compromissos epistemológicos e ontológicos de cada sujeito, que por sua vez sofrem a influência da cultura.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

Esse capítulo tem como objetivo retratar analiticamente, por meio de uma revisão bibliográfica das pesquisas em ensino de ciências e de física, como os temas sobre ondas sonoras, som e acústica têm sido investigados e quais são as propostas tanto para o ensino quanto para a aprendizagem desses conceitos, em particular aquelas que tratam de experimentos sobre ondas sonoras se propagando em tubos ou sobre o fenômeno de ressonância.

Durante a revisão de literatura, não foram encontradas muitas pesquisas sobre ensino de ondas sonoras, tubos sonoros e ressonância, deixando evidente a necessidade e a relevância de pesquisas sobre esse tema, justificando assim o interesse e a busca por este conhecimento.

#### **3.1 Classificação das pesquisas sobre ondas sonoras**

Para fazer essa revisão da literatura, a metodologia usada foi a busca de artigos de pesquisas em ensino de ciências e de física, que continham palavras que remetesse ao tema sobre ondas sonoras, tubos sonoros e/ou ressonância. Essa busca foi norteada pela disponibilidade dos artigos de pesquisa em ensino nos periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), em atas e bancos de teses na internet. As datas de publicação dos artigos estão entre os anos de 2000 e 2020, com exceção de três artigos com datas anteriores a 2000, que foram selecionados para análise devido a sua relevância para o tema tratado.

Nessa busca, 46 trabalhos de pesquisa foram selecionados para serem analisados segundo o critério de seleção já mencionado. Contudo, não foi nosso objetivo analisar os trabalhos que abordavam o ensino de ondas eletromagnéticas. Sendo assim, todos os trabalhos analisados tinham como objetivo geral o ensino de ondas mecânicas.

Os trabalhos encontrados foram lidos e analisados quanto aos objetivos propostos na pesquisa; à metodologia utilizada; à abordagem dada ao tema de ondas sonoras, tubos sonoros e ressonância; à coerência com os resultados obtidos em outras pesquisas; à aplicabilidade dos resultados da pesquisa em sala de aula.

A partir disso, foram classificados os trabalhos encontrados em sete grupos. No primeiro grupo, estão pesquisas que trazem propostas de aulas e atividades práticas com materiais concretos para o ensino de ondas sonoras. O segundo refere-se a trabalhos que

fazem uso do computador para o ensino de ondas sonoras. No terceiro, são trazidas pesquisas que relacionam o som com o corpo humano. No quarto, são trazidas as pesquisas que relacionam o ensino de som com a música e o funcionamento de instrumentos musicais. No quinto, são trazidas pesquisas que mostram a aprendizagem do conceito de ondas sonoras. No sexto, são trazidas pesquisas sobre a inclusão do surdo no ensino de som. Por fim, no sétimo grupo, foram colocadas as pesquisas que não se encaixam nos grupos anteriores, mas que visam o ensino de ondas sonoras, tubos sonoros e ressonância. Os 46 trabalhos analisados foram descritos a seguir, nos itens de 4.1.1 a 4.1.7.

### 3.1.1 Propostas de atividades práticas com materiais concretos

a) Aprendizagem de ondas sonoras por meio de uma situação adidática (GOBARA; MARQUES, 2008).

Com uma preocupação maior com o ensino, esse artigo propõe uma situação adidática para o ensino de ondas sonoras. O referencial teórico usado foi Brousseau e a atividade consiste em uma situação problema com um desafio proposto para os alunos. Vários conceitos físicos são abordados na realização da atividade e não é dada ênfase ao caráter analítico e matemático dos conceitos. Houve, também, uma preocupação com o levantamento das concepções alternativas dos alunos sobre som.

b) Desenvolvendo a abstração para aulas de vibrações e ondas (CANÇADO, 2007).

Esse trabalho traz uma proposta para o ensino de ondas de uma maneira conceitual e contextualizada, tomando como referencial teórico a teoria de Piaget. São utilizados alguns recursos didáticos, tais como experiências, demonstrações, vídeos e simulações de computador, a fim de que os estudantes pudessem manipular e visualizar o modelo estudado, evitando a forma tradicional de ensino e procurando desenvolver um processo de aprendizado pautado pela relação entre estudante e modelo.

Os autores partem da hipótese de que a visualização e a interação dos estudantes com modelos ou com analogias palpáveis auxiliam na assimilação dos conceitos, resultando em uma base mais sólida para o entendimento dos fenômenos estudados. Essa hipótese foi comprovada quando foi observado um aumento no interesse dos estudantes pelo tema estudado e uma capacidade de utilização dos conceitos teóricos da física ondulatória na compreensão fenômenos de vibração e propagação de ondas.

c) Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar (SAAB; CASSARO; BRINATTI, 2005).

Esse artigo propõe um experimento para alunos de ensino médio, para medir a velocidade do som no ar com um tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt. O uso do aparato proposto permitiu encontrar para a velocidade do som um valor muito próximo ao indicado na literatura.

Apesar de mostrar uma preocupação com o ensino de ondas sonoras, utilizando uma atividade viável em sala de aula, os conceitos de som e acústica são abordados de uma maneira limitada, dando enfoque a poucos aspectos da física ondulatória, como propagação do som em tubos abertos e fechados. Mas para o objetivo proposto – medir a velocidade do som – o experimento é relevante e pode ser muito útil em sala de aula, sendo utilizado sozinho ou associado a outros experimentos, abordando outros aspectos da física ondulatória.

d) Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias (PIZETTA, 2017).

Esse texto relata que a maioria dos aparatos experimentais para o estudo de ondas sonoras estacionárias é composta por um tubo em que há um êmbolo com um microfone para captação do sinal e um alto-falante como fonte excitadora. Esse mesmo êmbolo define o tamanho útil do tubo de forma manual. Essa configuração, se mal ajustada, pode causar má interpretação do fenômeno, porém, se bem ajustado, permite uma correta interpretação do fenômeno.

e) Sequência Didática: Uma alternativa para o ensino de acústica no Ensino Médio (MAZETI, 2017).

Nessa pesquisa, encontra-se uma sequência didática no tema de Acústica, construída sob a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, para auxiliar os docentes no ensino da Física sobre esse tema. A proposta foi implementada em uma turma do ensino médio da escola Colégio Integrado Monteiro Lobato na cidade Itu, interior de São Paulo.

A análise dos dados foi qualitativa e tentou identificar se houve aprendizagem significativa por parte dos alunos sobre o conteúdo da Acústica, de forma que se observou uma apropriação dos conceitos da Acústica de forma significativa ao final do trabalho. Afirma-se que esse material é bastante flexível, facilitando a aplicação em sala de aula e adaptando-se à realidade do professor, uma vez que ele é montado em módulos, propiciando o uso numa grande variedade de ambientes.

f) Experimentos em ondas e acústica para auxiliar o processo ensino e aprendizagem da física no ensino médio (SILVA, 2012).

Esse trabalho descreve o desenvolvimento de atividades práticas experimentais orientadas por roteiros com auxílio do microcomputador, como instrumento de medida no laboratório didático de Física, bem como um relato dessa experiência em sala de aula. Foram desenvolvidas atividades envolvendo fenômenos ondulatórios e acústica, para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa.

Como referenciais teóricos foram utilizadas as teorias sociointeracionista de Vygotsky e a da aprendizagem significativa de Ausubel. O material instrucional foi aplicado a duas turmas de alunos de ensino médio e a experiência didática é descrita neste trabalho como produto educacional.

g) Equipamiento de laboratorio de bajo costo: Tubo de Rubens (PRANDI; WURM, 2012).

A pesquisa apresentada nesse artigo utiliza o Tubo de Rubens, que consiste em um dispositivo, o qual possibilita realizar experiências de acústica em ambientes educativos. Com ele, pode-se analisar o som como um produto de variações de pressão que se transmitem em um meio material, além de colocar em evidência as perturbações mecânicas do espaço durante a manifestação de diferentes sons.

É feita a descrição da construção do equipamento utilizado, que teve como matéria prima materiais de baixo custo, bem como dos cuidados necessários para sua fabricação. Também são descritos os fundamentos físicos do seu funcionamento e algumas possibilidades de utilização deste instrumento didático.

h) Ondas sonoras estacionárias em um tubo: análise de problemas e sugestões (VIEIRA, AMARA; LARA, 2014).

Esse artigo traz alguns questionamentos com respeito à abordagem utilizada, em alguns livros didáticos de nível médio, sobre o tema de ondas sonoras estacionárias em tubos. Além de classificar os livros didáticos dentro de um conjunto de critérios estabelecidos, são apresentadas também algumas sugestões para uma discussão mais aprofundada deste tema. Sugere-se o uso de gifs, animações e a utilização de dois experimentos simples, que permitem a visualização dos perfis de variação de pressão e deslocamento de ar para os modos harmônicos de vibração.



i) Velocidade do som no ar e efeito Doppler em um único experimento (LÜDKE; CAUDURO; VIEIRA; ADORNES, 2012)

Esse artigo explica uma modificação do clássico experimento de medida da velocidade do som, no ar livre, pelo método de medida de tempo de propagação de ondas sonoras captados por dois microfones, a fim de obter melhor precisão nas medidas. Apresenta, então, circuitos de produção e captação de sinais de ultrassons em 40 kHz que permitem, além de determinar a velocidade do som com melhor precisão, explorar o efeito Doppler-Fizeau quantitativamente, o que não pode ser feito com ondas sonoras audíveis. Além disso, uma metodologia adequada para trabalhar o experimento com um grupo de alunos de segundo ano de laboratório de física geral também é apresentada.

### 3.1.2 Uso do Computador

a) A Aprendizagem de Ondas Sonoras sob a ótica de desafios em um ambiente virtual potencialmente significativo (DIOGO, 2008).

Nessa pesquisa, foi elaborado um ambiente virtual, tendo, como público alvo, alunos do ensino médio. Os dados obtidos foram analisados e as análises revelaram a existência de obstáculos epistemológicos que prejudicaram a aprendizagem de alguns dos conceitos físicos problematizados nos desafios. Com os resultados dessa pesquisa, pode-se afirmar que, quando se utiliza de maneira adequada os recursos disponíveis no computador, ele pode beneficiar a construção do conhecimento pelo aluno, por isso deve ser considerado como mais um recurso didático na promoção da aprendizagem significativa.

b) O ensino da física do som baseado em investigações (BORGES; RODRIGUES, 2005).

O trabalho traz os resultados de uma atividade realizada com alunos de nono ano do ensino fundamental e segundo ano do ensino médio, em um curso de física do som, utilizando o computador. Os estudantes, divididos em três grupos, estudaram o texto do curso em seu próprio ritmo.

Ao longo do estudo, os grupos resolviam exercícios de fixação e respondiam a questões abertas. Algumas questões desafiavam os grupos a planejarem atividades de investigação para resolver problemas conceituais. Assim, os dados analisados foram construídos a partir das gravações em vídeo das sessões dos grupos no ambiente de

aprendizagem e de testes de conhecimento específico aplicados antes e depois do curso. Logo, os resultados indicaram melhoria no desempenho no pós-teste – comparado com o pré-teste – e na compreensão dos tópicos abordados no curso.

c) “Visible” waves: In a web site a teaching pathway from everyday knowledge toward the scientific knowledge (GAGLIARDI; GIORDANO; ONIDA; RECCHI; ROSSI, 2008).

Este trabalho traz uma proposta de utilização de um *web site* para ajudar professores na elaboração de projetos e aulas sobre fenômenos ondulatórios. Este é um dos poucos artigos que trazem uma abordagem não formal dos fenômenos ondulatórios, por meio de fotos, desenhos, filmes, animações e simulações computacionais, mediante a realização de experimentos didáticos com o sistema de som de um computador.

d) Um software para experimentos sobre batimento de ondas sonoras (SILVA, et al., 2004).

Esse artigo procura enfatizar a importância da experimentação na compreensão de um fenômeno físico sobre interferência, denominado batimento de ondas sonoras. Algumas alternativas para a realização do experimento são apresentadas e as limitações de cada uma delas são apontadas.

O artigo apresenta, também, um *software* disponibilizado na *internet* desenvolvido para este experimento. O experimento foi realizado com a utilização desse *software*, e os resultados obtidos, tanto qualitativos quanto quantitativos, foram bastante satisfatórios. Nesse experimento, foi encontrada uma abordagem mais consensual e menos matemática do fenômeno de batimento.

e) Physics demonstration of sound waves using Visual Analyser (KADRI; JAAFAR; ADLI; NAZIHAH, et al., 2013).

Esse artigo descreve várias demonstrações possíveis para ondas sonoras, utilizando um visualizador virtual de ondas. As demonstrações sugeridas são adequadas para a aula de física no processo de aprendizagem de ondas sonoras para alunos de Ensino Fundamental e Médio. Ademais, o programa usado é gratuito e oferece uma alternativa com funções mais amplas que a de um osciloscópio.

São sugeridas cinco demonstrações de ondas sonoras usando tubos, autofalantes, e microfones instalados no computador. Assim, essas demonstrações descrevem os conceitos de

ressonância, interferência, ondas estacionárias e outros fenômenos relacionados a ondas sonoras.

f) Uma proposta de objeto digital de aprendizagem para o ensino de ondas sonoras (CAVALCANTE; MOREIRA; SALES, 2019).

Esse artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de desenvolvimento de um Objeto Digital de Aprendizagem (ODA) sobre ondas sonoras, mais especificamente sobre o comportamento dessas ondas de acordo com a equação fundamental da ondulatória. A ideia é que este ODA seja desenvolvido e trabalhado com alunos de Ensino Médio ou com os dos últimos anos do Ensino Fundamental. São apresentadas as características do objeto, seu planejamento, e uma revisão de literatura.

### 3.1.3 O uso do corpo humano

a) Uma proposta de conceitos físicos na 8<sup>o</sup> série através do som, e algumas importantes curiosidades e aplicações do seu estudo (RUI, 2006).

Trata-se de uma dissertação de mestrado que apresenta uma proposta de introdução da Física para as oitavas séries por meio do estudo de fenômenos físicos relacionados à produção e percepção de sons. Na perspectiva de apresentar a Física de forma contextualizada, em especial com o corpo humano, foi produzido um painel sobre o processo de audição humana e um texto complementar ao painel.

b) Uma introdução para o ensino de ondas sonoras (GOBARA; NASCIMENTO, 2007).

Esse trabalho apresenta os resultados obtidos na realização de uma atividade proposta para alunos de oitava série do ensino fundamental, com o objetivo de levá-los a construir um modelo explicativo que descreva a produção do som pelo aparelho fonador. Na atividade, os alunos manipularam alguns objetos simples que emitem som, tais como borrachas de dinheiro, corneta de fole, e realizaram a atividade proposta, orientados por um roteiro, que continha questões sobre o que estava ocorrendo com os objetos durante a emissão de som. Eles também observaram seu próprio corpo no momento em que falavam.

Ademais, foi solicitado aos alunos que explicassem sobre como se dava o processo de emissão de som em cada situação proposta na atividade. Chegou-se a um resultado em que as terminologias utilizadas pelos alunos são decorrentes de uma noção intuitiva do fenômeno

ondulatório e sonoro, adquiridas na vivência do dia-a-dia. Porém, mesmo com a utilização dessas terminologias usuais, o conceito de onda sonora não é completamente desconhecido por eles. Alguns modelos explicativos sugeridos nas respostas dos alunos são descritos nesse artigo.

c) Ouvido mecânico: um dispositivo experimental para o estudo da propagação e transmissão de uma onda sonora (ERROBIDART, 2014).

Esse trabalho considera que, entre as principais dificuldades para o emprego de atividades experimentais no ensino de física, uma das maiores está na falta de materiais de apoio e orientações que permitam ao professor a utilização de estratégias metodológicas diferenciadas. Frente a isso, o autor relata a elaboração de um dispositivo experimental chamado de ouvido mecânico. Ele foi construído com materiais de baixo custo e pode ser utilizado para explorar conceitos relacionados a ondas, como propagação, transmissão e amplificação da pressão de uma onda sonora no ouvido externo.

d) O uso do aparelho fonador para o ensino de ondas sonoras (NASCIMENTO; GOBARA, 2007).

Esse trabalho apresenta uma proposta didática diferenciada para a introdução do conteúdo de ondas sonoras para o nono ano do ensino fundamental. Trata-se, portanto, de uma atividade contextualizada, em que os alunos são levados a construir modelos explicativos sobre a produção da voz, ao realizarem as atividades com observação de objetos e partes do corpo.

Isso contribuiu para que eles se apropriassem de alguns conceitos relacionados às ondas sonoras, som e acústica. Ademais, essa atividade foi proposta para ser aplicada em sala de aula, visando a promoção da aprendizagem significativa dos princípios da física ondulatória e a compreensão da produção da voz.

e) Hábitos auditivos e comportamento de adolescentes diante das atividades de lazer ruidosas (LACERDA, 2010).

Nesse trabalho, buscou-se identificar atitudes e hábitos auditivos de 125 adolescentes frente ao ruído (ambiental e lazer). Utilizou-se a versão brasileira do questionário Youth Attitude to Noise Scale (YANS) para explorar atitudes dos adolescentes diante do ruído e questões relacionadas aos hábitos auditivos e dados demográficos dos adolescentes. Foram feitas análises por estatística descritiva, testes de Fisher e Qui-quadrado.

A pesquisa, então, mostrou que 40,2% dos adolescentes concordam que barulhos e sons altos são aspectos naturais da nossa sociedade, 32% sentem-se preparados para tornar o ambiente escolar mais silencioso e 41,6% consideram importante tornar o som ambiental mais confortável. Além disso, 38,4% dos adolescentes apresentam zumbido e consideram-se sensíveis ao ruído. A maioria (85,6%) dos entrevistados relatou não se preocupar antes de ir a shows e discotecas, mesmo com experiências precedentes de zumbido e 75,2%, não fazem uso de protetor auditivo.

f) Ensino de ondas sonoras e saúde auditiva na perspectiva dos 3MP e no enfoque CTS (SILVA; COSTA; CAMARGO; HILGER; SAMOJEDEM, 2017).

Essa pesquisa propõe uma sequência didática para o ensino de ondas sonoras, por meio de um tema significativo para os estudantes, pautada no referencial dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) e no enfoque de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). A intervenção visou explorar a saúde auditiva, de forma que os estudantes compreendessem a propagação do som, as características e os efeitos das ondas sonoras, relacionando-as em especial com as músicas que ouvem no fone de ouvido.

A investigação foi realizada em quatro turmas do 2º ano do Ensino Médio e contou com vídeos, animações, simulador, prática experimental e roteiros. As respostas discursivas dos estudantes e os critérios foram analisados à luz da proposta de avaliação contida nos documentos oficiais nacionais e estaduais. Os resultados revelaram bons índices das notas bimestrais obtidas pelos estudantes, indicando que houve apropriação dos conhecimentos. Além disso, fatores inusitados ocorridos durante as atividades apontam potencialidades e novas perspectivas para a ação docente.

g) Visualize sua voz: uma proposta para o ensino de ondas sonoras (MOURA; CURVO; ASSIS; BARROS, 2017).

A presente pesquisa objetiva desenvolver e aplicar, para alunos do Ensino Médio, um produto educacional – um guia didático – para o ensino de ondas sonoras na disciplina de Física. Esse guia, composto de três aulas teóricas e uma prática, culmina com a montagem de um aparato experimental.

Esse aparato é montado facilmente a partir de materiais de baixo custo. Além disso, funciona captando as ondas sonoras e as transformando em figuras semelhantes às figuras de Lissajous. Para a avaliação desse produto educacional, foi utilizada a teoria da aprendizagem

significativa de David Ausubel e a pesquisa qualitativa. Dessa forma, foi possível investigar e obter evidências de aprendizagem significativas por parte dos alunos participantes das aulas.

h) De onde vem o som da voz (NASCIMENTO; GOBARA, 2005).

Nessa pesquisa, buscou-se fazer um levantamento dos modelos mentais de alunos do sétimo e oitavos do ensino fundamental. Foram feitas entrevistas com alguns desses alunos, em que eles foram questionados sobre como eram produzidos os sons de alguns objetos e, por fim, como era produzida a voz. Os resultados dessas entrevistas mostraram a influência do uso de terminologias do dia a dia na elaboração de modelos mentais e, conseqüentemente, na aprendizagem significativa dos conceitos de som, ondas sonoras e de produção da voz.

Ademais, a maioria dos alunos associou a produção do som com a vibração dos objetos manuseados, e não identificou o som como uma onda, porque eles não conheciam esse conceito. Contudo, eles apresentaram uma noção intuitiva (transporte de matéria), ao associá-lo ao deslocamento do ar. Eles apresentaram também algumas das propriedades do som como altura e intensidade, porém sem utilizar essas terminologias.

i) Um recurso didático para ensino de física, biologia e música (RUI; STEFFANI, 2006).

Nesse trabalho, é apresentado um recurso didático que pode ser explorado em Ciências, Física, Biologia e Música. Trata-se de um painel sobre audição humana, focalizando os fenômenos físicos que ocorrem ao longo do ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno no processo da audição.

A vantagem do uso deste recurso em relação aos outros é a grande possibilidade de interdisciplinaridade que ele proporciona. Abordar fisicamente os assuntos tratados por outras áreas traz uma grande contribuição para o ensino de Física. Isso exige cooperação profissional entre professores de diferentes áreas e séries de ensino. Além disso, da maneira que foi construído, apesar de não possibilitar uma manipulação concreta dos fenômenos sonoros, o painel pode ser usado para abordar uma grande quantidade de conceitos físicos sobre som e, nisto, consiste sua relevância.

j) Students' Learning of a Generalized Theory of Sound Transmission from a Teaching–Learning Sequence about Sound, Hearing and Health (WEST; WALLIN, 2013).

Esse estudo envolveu 199 estudantes de 10 a 14 anos. Suas opiniões sobre a transmissão de som foram investigadas antes e depois do ensino, comparando suas respostas

escritas sobre transferência de som em diferentes mídias. Inclusive, o ensino foi construído em uma sequência de ensino-aprendizagem (TLS) baseada em pesquisa, desenvolvida dentro de uma estrutura de pesquisa de design.

Ademais, a análise envolveu a interpretação das teorias subjacentes dos estudantes de transmissão de som, incluindo as diferentes categorias conceituais encontradas em suas respostas. Os resultados indicaram uma mudança no entendimento dos alunos quanto ao uso de uma teoria da matéria – antes da intervenção – para uma teoria do processo, posteriormente.

Além disso, o padrão descrito foi encontrado em todos os grupos de estudantes, independentemente da idade. Assim, o ensino sobre o som e a sua transmissão já é proveitoso entre os 10 e os 11 anos. No entanto, quanto mais velhos os alunos, mais avançada é a compreensão do processo de produção e propagação do som.

k) O estudo das ondas sonoras por meio de uma atividade didática envolvendo leitura de um texto de divulgação científica (CORREIA; BOLFE; SAUERWEIN, 2016).

Nesse trabalho, apresentam-se e discutem-se os resultados de uma atividade didática que fez uso de estratégias de leitura para trabalhar um texto de divulgação científica que aborda uso, escolha e funcionamento dos diferentes tipos de fones de ouvido. Nesse sentido, a atividade didática contemplou aspectos científicos e tecnológicos, vinculando-os à saúde auditiva.

Os resultados obtidos, portanto, atingiram os objetivos propostos, pois a vinculação entre o conteúdo da área da Física e as informações do texto contribuiu para o entendimento do assunto e também despertou o interesse dos alunos pelas atividades de leitura. Percebeu-se, então, que o tema tratado no texto e a forma como foram propostas as atividades de leitura potencializaram a abordagem do conhecimento científico envolvido no entendimento do uso e da escolha criteriosa dos distintos modelos de fones de ouvido.

#### 3.1.4 Física e Música

a) Proposta para o Ensino de Ondas e Acústica Utilizando Música e Instrumentos Musicais (LOPES; BELLAN; TAGLIATI, 2005).

Esse trabalho propõe uma maneira de ensinar conceitos da Física do Som para alunos do segundo ano do Ensino Médio, por meio da apresentação de uma palestra sobre música e instrumentos musicais, avaliando o conhecimento espontâneo dos alunos sobre ondas e

acústica, assim como observando o impacto da palestra sobre os alunos. Ademais, os modelos mentais externados pelos alunos são levados em conta na análise dos resultados. A palestra consiste em estabelecer relações entre a física e a música, criando uma ponte entre o conhecimento científico e o cotidiano do aluno.

Apesar de levar em conta os modelos mentais dos alunos, classifica-se essa pesquisa no grupo de propostas didáticas, porque o objetivo maior do autor foi verificar se a introdução do conteúdo de ondas, por meio de uma palestra sobre instrumentos musicais, auxiliaria na aprendizagem de som, acústica e ondas sonoras – seja como agente motivador, ou como contextualização de conceitos.

b) Física e música em consonância (GOTO, 2009).

Nessa pesquisa são examinadas as condições físicas e matemáticas da consonância das ondas sonoras, estabelecendo-se uma relação entre suas frequências fundamentais. Mostra-se que é independente de fases e amplitudes relativas, além de ser válida para todas as suas componentes harmônicas, concluindo-se que essa relação de consonância – assim definida – depende apenas das frequências fundamentais. Por fim, examina-se como essa relação se manifesta na estrutura da escala musical.

c) A física do violino (DONOSO; TANNÚS; GUIMARÃES; FREITAS, 2008).

Nesse artigo, apresenta-se uma descrição geral da física do violino, analisando os conceitos que lhes dão sustentação física e que revelam toda a riqueza e o potencial pedagógico do assunto. Descreve-se, também, a função de cada um dos componentes do instrumento e discute-se a importância dos modos normais de vibração dos tampos e do cavalete na resposta acústica do violino. Além disso, a ressonância acústica da caixa do violino (ressonância de Helmholtz) foi discutida, fazendo-se um paralelo entre osciladores mecânicos, elétrico e acústico.

d) O som, seus parâmetros, e a música: o ensino dos elementos musicais (IBAÑES, 2010).

Esse trabalho consiste numa pesquisa teórica e de campo, com vistas a produzir orientações pedagógicas para o ensino de música. Ele teve por objetivo, primeiramente, propor uma alternativa de ensino dos elementos musicais (melodia, ritmo, harmonia e timbre, entre outros) mediante sua observação como fenômeno físico. Em seguida, buscou investigar a origem desses elementos por meio dos parâmetros do som (altura, intensidade, duração e



timbre) e das variáveis de uma onda sonora (frequência, amplitude, período e comprimento), tentando reconhecer a percepção desses conceitos como expressão de inteligência sonora, e verificando o perfil cognitivo dos educandos acerca tanto dos elementos musicais quanto dos parâmetros do som, e o que isso implica para o aprendizado em música.

Assim, concluiu-se que a turma investigada ignora boa parte das definições dos conceitos sonoros tratados nessa pesquisa. Além disso, observou-se que a aprendizagem e o reconhecimento desses conceitos são facilitados quando acompanhados de uma ilustração sonora e que é possível tornar o ensino desses conceitos sonoros significativo, partindo-se da perspectiva de explicá-los na qualidade de fenômeno físico – levando a perceber que o conhecimento dos parâmetros do som e dos elementos musicais é fundamental para desenvolver a inteligência sonora.

e) Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física (SANTOS; MOLINA; TUFAILI, 2013).

São propostas atividades práticas simples para a caracterização de propriedades do som produzido por violões e guitarras, por meio de uma análise harmônica. Entre elas, é proposta uma demonstração que pode ser feita em tempo real em sala de aula. As ondas sonoras produzidas por instrumentos de cordas são capturadas e analisadas por meio de uma abordagem espectral.

Propriedades físicas da corda do violão e da guitarra são exploradas. Ademais, os resultados experimentais apresentaram coerência e concordância com as previsões teóricas. Inclusive, as ferramentas apresentadas podem ser utilizadas como material de apoio no estudo de cordas vibrantes, oscilações, ondas, equações diferenciais, análise harmônica baseada em transformadas de Fourier e instrumentação para o laboratório de física.

### 3.1.5 Aprendizagem de ondas sonoras

a) A study of tertiary physics student's Conceptualizations of Sound (LINDER; ERIKSON, 1989).

Esta pesquisa discute as concepções que os estudantes acadêmicos de Física possuem sobre som. Dez acadêmicos foram entrevistados e essas entrevistas foram analisadas com o objetivo de levantar possíveis modelos explicativos sobre som externados pelos alunos. As implicações dos resultados dessa pesquisa na ação do professor em sala de aula também são discutidas pelos autores.

b) Identifying students models of sound propagation (HREPIC; ZOLLMAN; REBELLO, 2002).

Foram investigados os modelos mentais dos estudantes sobre a propagação sonora em turmas que estavam iniciando o estudo de física. Além do modelo científico, os estudantes usaram o modelo da “entidade”. Nesse modelo, o som é uma entidade independente do meio, porém que se propaga através dele.

Todos os outros modelos alternativos observados são variações do modelo de entidade, mas que possuem características de outros modelos. Além disso, o autor descreve cada um desses modelos e os denomina de modelos híbridos. Essa pesquisa é um bom ponto de partida para quem deseja melhorar o ensino de física, em especial o ensino de ondas sonoras.

c) Le raisonnement des étudiants dans la physique des ondes (MAURINES, 2002).

Nessa pesquisa, procurou-se estabelecer um modelo de raciocínio que permite interpretar as dificuldades encontradas por grupos não homogêneos de alunos. Essa é apenas uma primeira etapa na elaboração de sequências de ensino adaptadas às dificuldades dos alunos, as quais têm como alvo a apresentação de propostas pedagógicas para o ensino de som e de ondas sonoras. Além disso, por meio dessa pesquisa, os resultados obtidos podem ser utilizados tanto em outras pesquisas, quanto na elaboração e planejamento de atividades para o ensino de som.

d) Making Sense of Secondary Science: Research into Children’s Ideas (DRIVER, 1994).

É um trabalho que buscou descrever as ideias das crianças sobre alguns conceitos da ciência. Nesse sentido, a autora aborda a produção e propagação do som, destacando o fato de que os estudantes não estão cientes de algumas ideias essenciais a respeito da geração e da propagação de ondas sonoras, suas fontes, natureza, propriedades físicas e a sua interação com meio. Inclusive, não recorrem a algumas abstrações necessárias para representar as características das ondas sonoras com modelos mentais.

e) Obstáculos conceptuales en el aprendizaje de la energía de las ondas (WELTI, 2005).

No presente artigo, são analisadas algumas dificuldades que os alunos possuem na compreensão do conceito de energia que está contido no estudo de ondas. Em particular, é estudada uma onda mecânica unidimensional, por se tratar de um modelo mais simples. Segundo os autores, a dificuldade, na compreensão do conceito de energias das ondas é um obstáculo conceitual na aprendizagem dos conceitos de som, ondas sonoras e acústica.

f) O conceito de ondas na visão dos estudantes (GOBARA; ERROBIDART; MARQUÊS; JARDIM; ERROBIDART; PLAÇA, 2007).

Este é um trabalho que foi escrito como parte inicial de uma pesquisa sobre ensino de ondas sonoras, em que se buscou levantar os modelos explicativos que os alunos possuem sobre ondas. Alguns modelos foram levantados e todos eles condizem com os já encontrados na literatura. É relata a dificuldade de se encontrar pesquisas de modelos mentais sobre a física ondulatória. Daí surge a preocupação em abordar de forma mais abrangente esse tema.

g) University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation (LINDER, 1993).

Esse trabalho discute as concepções de 14 acadêmicos de Física, do Canadá e da África do Sul, sobre os fatores que afetam a velocidade de propagação do som. A origem dos dados consiste em um jogo das explicações detalhadas que os graduandos forneceram durante entrevistas que tratam de sua compreensão sobre o som. As concepções são ilustradas com exemplos dos diálogos feitos nas entrevistas.

h) Del evento sonoro al fenómeno físico: un estudio sobre las ideas que los estudiantes mantienen sobre el sonido (NIÑO, 2015).

Esse artigo relata as ideias e conceitos que um grupo de 30 estudantes do Ensino Médio na Colômbia têm sobre som e sobre as relações que estabelecem após sua explicação. A autora ressalta que as experiências que se tem diariamente com o som deveriam auxiliar a defini-lo, fazendo uso de termos da ondulatória. No entanto, para os alunos do Ensino Médio que estão iniciando seus estudos em Física, a ideia de som como onda está bem distante. Logo, os resultados mais significativos mostram que os alunos falam sobre som audível a partir da distância de propagação, das características do meio e da impenetrabilidade do som.

### 3.1.6 Inclusão

a) Atividades para o ensino de ondas sonoras aos alunos surdos: uma proposta inclusiva (SAMPAIO; COSTA; BRAZ, 2014).

Trata-se do relato de um projeto intitulado “Atividades para o Ensino de Ondas Sonoras”. Assim, é uma proposta inclusiva a qual possui como objetivo possibilitar que os alunos surdos e ouvintes tenham as mesmas condições de assimilar o referido conteúdo, incluso no currículo mínimo de Física para o Ensino Médio.

Além disso, a metodologia utilizada foi o simulador PhET (sigla para Physics Education Technology, em português, Tecnologia Educacional Física). Ademais, foram explorados os sentidos de tato e visão dos surdos. Esteve ainda disponível na sala de aula o apoio de uma intérprete da Língua Brasileira de Sinais.

Foi nesse contexto que os alunos puderam aprender por meio da exploração e da descoberta. A proposta foi aplicada com êxito entre alunos de uma escola pública, inseridos em diferentes séries dos Ensinos Fundamental e Médio. Assim, a atividade propiciou a aprendizagem por parte dos alunos surdos, bem como o neologismo de dois sinais em Libras: um para ultrassom e o outro para infrassom.

b) Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio (SILVEIRA; BARTHEM; SANTOS, 2019).

Este trabalho relata que os modelos disponíveis para o ensino de ondas, principalmente no ensino médio, não levam em consideração o estágio de desenvolvimento real em que se encontra a grande maioria dos estudantes. Aliado a isso, a dificuldade em se apresentar frequências, sejam de natureza eletromagnética ou mecânica (sonora), diferentes das faixas que se é capaz de interpretar por meio dos sentidos, tende a constituir um enorme obstáculo epistemológico.

Numa tentativa de lançar alguma luz sobre esse problema, desenvolveram-se dois experimentos que apresentam relações entre frequências invisíveis e inaudíveis, mas que, por meio do processamento com a plataforma Arduino (plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única), puderam ser convertidas em frequências que sensibilizassem os sentidos. Dessa forma, pretende-se descortinar esse mundo invisível, trazendo, para a sala de aula, experimentos que podem ser utilizados, inclusive, por estudantes com deficiência visual ou auditiva.

c) Ensino de Física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras (VIVAS; TEIXEIRA; CRUZ, 2017).

Esse trabalho se insere na temática sobre o papel das tecnologias na compreensão conceitual e na promoção da inserção social de estudantes surdos. São apresentadas duas versões (mecânica e eletrônica) de um experimento didático desenvolvido pelos autores para o ensino de ondas sonoras, voltado primordialmente para estudantes surdos do Ensino Médio. Inicialmente, é feito um breve histórico da educação para surdos desde a antiguidade, seguida de uma discussão teórica sobre a física da voz.

Na sequência, são apresentadas as duas versões do experimento com seus detalhes técnicos e o processo de elaboração deles, bem como, uma discussão teórica acerca de uma perspectiva para uso didático desses experimentos, orientado por uma visão vigotskiana. Ao final, são feitas considerações acerca do potencial uso didático do experimento visando a inclusão dos alunos surdos em classes regulares, visto que se trata de experimentos ainda não avaliados em situações reais de sala de aula.

### 3.1.7 Propostas diversas sobre ondas sonoras

a) Atividade de ondas sonoras (PEREIRA, 2006).

Trata-se de uma atividade em que o aluno deveria ler um texto de apoio sobre som e ondas sonoras. Em seguida, eles deveriam responder algumas questões sobre esse assunto. Ademais, não há uma abordagem prática dos conceitos, mas tanto o texto quanto o questionário respondido pelos alunos podem ser usados como parte de uma atividade mais ampla a ser proposta.

b) Uma proposta para a apresentação de conceitos de acústica no ensino médio (TAVARES; SOUZA, 2007).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de oferecer subsídios aos professores de Física do Ensino Médio para o ensino de acústica. A partir dos conceitos principais de acústica, foi tratada a acústica de ambientes. Foram analisados alguns fatores, tais como isolamento contra o ruído, o eco, a distribuição sonora e a reverberação adequada, que interferem na qualidade do som produzido em uma sala de concertos e que devem ser levados em consideração pelos arquitetos, engenheiros e técnicos de som.

Em particular, foi feita a análise da acústica do teatro Trianon, localizado na cidade de Campos dos Goytacazes. Os pontos analisados foram os coeficientes de absorção dos

materiais utilizados, as áreas das superfícies e o volume total do teatro, além de determinar o tempo de reverberação para três frequências, que correspondem aos sons graves, médios e agudos.

Acredita-se que a realização dessa atividade pode ser conduzida de forma a abordar de uma maneira concreta e prática, e não somente a matemática ou a teoria referente aos conceitos de acústica.

c) Levantamento dos trabalhos em ensino de física que investigam ondas sonoras (JARDIM; ERROBIDART; GOBARA, 2008).

Esse é um trabalho que buscou uma revisão de literatura sobre o ensino de som, ondas sonoras e acústica. Assim, foram analisados trabalhos publicados em periódicos e disponibilizados na *internet* que traziam em seu corpo as palavras som, acústica, ondas sonoras e/ou transposição didática. É um importante relato de como estava a pesquisa em ensino de ondas sonoras. O diferencial deste trabalho está no enfoque dado aos modelos mentais externados pelos alunos, e na ênfase dada à metodologia utilizada em cada trabalho.

d) O ensino de acústica nos livros didáticos de física recomendados pelo PNLEM: análise das ligações entre a física e o mundo do som e da música (MONTEIRO JÚNIOR; CARVALHO, 2011).

Nesse artigo, os autores apresentam uma análise dos conteúdos de acústica presentes nos livros didáticos de Física – recomendados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio – PNLEM – na qual utilizaram os mesmos critérios da ficha de avaliação utilizada pelos especialistas na análise de tais livros.

Observou-se, então, que tais textos pouco evoluíram em comparação com os dez livros de Física para Ensino Médio mais utilizados em 1998 nas escolas brasileiras. Além disso, os autores destacaram a inclusão de alguns aspectos da cultura do som e da música, porém relataram que há ainda diversas distorções conceituais e históricas, além da pouca importância dada às ligações CTSA, dentre as quais, os estudos de paisagens sonoras que, sequer, são mencionados.

### 3.2 Análise dos Resultados

Para uma melhor apresentação dos dados analisados na revisão de literatura, foi elaborada a Tabela 1 com os principais aspectos identificados nos trabalhos sobre ondas sonoras.

TABELA 1 – PRINCIPAIS ASPECTOS DOS TRABALHOS ANALISADOS.

	<b>Título:</b>	<b>Objetivo:</b>	<b>Metodologia:</b>	<b>Abordagem:</b>	<b>Aplicabilidade:</b>
<b>1.1 - Propostas de atividades práticas com materiais concretos</b>	a) Aprendizagem de ondas sonoras por meio de uma situação adidática.	Investigar o ensino de ondas por meio de uma situação adidática.	Engenharia didática.	Qualitativa.	Para alunos do segundo ano do Ensino Médio.
	b) Desenvolvendo a abstração para aulas de vibrações e ondas.	Propor uma metodologia de ensino para os tópicos de ondulatória.	Recursos didáticos como experiências, demonstrações, vídeos e simulações de computador.	Qualitativa.	Para alunos do segundo ano do Ensino Médio.
	c) Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar.	Propor um experimento para medir a velocidade do som.	Aula experimental com material de baixo custo.	Qualitativa.	Para alunos de Ensino Médio e de Graduação em engenharias e áreas da ciência.
	d) Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias.	Propor uma forma mais adequada de analisar sinais sonoros em tubos.	Aplicação de experimento e análise dos dados obtidos.	Qualitativa.	Para professores de Ensino Médio.
	e) Sequência Didática: Uma alternativa para o ensino de acústica no Ensino Médio.	Verificar a contribuição de uma sequência didática na aprendizagem de ondas.	Elaboração e aplicação de sequência didática.	Qualitativa.	Para alunos de Ensino Médio.
	f) Experimentos em ondas e acústica para auxiliar o processo	Descrever o desenvolvimento de atividades práticas	Descrição de experiência de	Qualitativa.	Para alunos do Ensino Médio.

	ensino e aprendizagem da física no ensino médio.	sobre ondas.	sala de aula.		
	g) Equipamento de laboratório de baixo custo: Tubo de Rubens.	Descrever a elaboração de um instrumento didático de baixo custo para o ensino de ondas sonoras.	Construção e análise do funcionamento de um Tubo de Rubens.	Qualitativa.	Para alunos do Ensino Médio.
	h) Ondas sonoras estacionárias em um tubo: análise de problemas e sugestões.	Apresentar questionamentos sobre a abordagem utilizada em livros didáticos de nível médio sobre o tema de ondas sonoras estacionárias em tubos.	Análise de livros didáticos e proposição e aparato experimental.	Qualitativa.	Para professores de Ensino Médio.
	i) Velocidade do som no ar e efeito Doppler em um único experimento.	Propor adaptações para experimento de determinação da velocidade do som no ar.	Determinação da velocidade do som com frequências não audíveis.	Qualitativa.	Para alunos de graduação em Física e em áreas a fins.
<b>1.2 - Uso do Computador</b>	a) Aprendizagem de ondas sonoras sob a ótica de desafios em um ambiente virtual potencialmente significativo.	Verificar se as tecnologias da informação e comunicação podem ser utilizadas como meios potencialmente significativos para a aprendizagem de ondas sonoras.	Delineamento experimental com grupo de controle.	Qualitativa.	Para alunos de Ensino Médio.
	b) O ensino da física do som baseado em investigações.	Investigar a aprendizagem que resulta da participação em atividades de investigação de	Aprendizagem por investigações.	Qualitativa.	Para alunos do nono ano do Ensino Fundamental e do primeiro e segundo ano do



		fenômenos sonoros que aconteceram em um ambiente rico em representações.			Ensino Médio.
	c) “Visible” waves: In a web site a teaching pathway from everyday knowledge toward the scientific knowledge.	Utilizar um site para ajudar professores na elaboração de projetos e aulas sobre fenômenos ondulatórios.	Elaboração de projetos.	Qualitativa.	Para professores do Ensino Médio.
	d) Um software para experimentos sobre batimento de ondas sonoras.	Enfatizar a importância da experimentação na compreensão do fenômeno de batimento em ondas.	Aplicação de experimento utilizando o computador.	Qualitativa e quantitativa.	Para alunos de segundo ano do Ensino Médio.
	e) Physics demonstration of sound waves using Visual Analyser.	Demonstrar fenômenos sonoros utilizando recursos virtuais.	Utilização de computador para demonstração de fenômenos ondulatórios.	Qualitativa.	Para professores de física.
	f) Uma proposta de objeto digital de aprendizagem para o ensino de ondas sonoras	Propor um objeto digital de aprendizagem para o ensino de ondas sonoras.	Utilização do computador como ferramenta no processo de ensino.	Qualitativa.	Para alunos do nono ano do Ensino Fundamental e segundo ano do Ensino Médio.
<b>1.3 - O uso do corpo humano</b>	a) Uma proposta de conceito físicos na 8ª série por meio do som, e algumas importantes curiosidades e aplicações do seu estudo.	Apresentar a física de forma contextualizada, em especial com o corpo humano.	Elaboração de painel sobre audição humana.	Qualitativa.	Para alunos de nono ano do Ensino Fundamental.
	b) Uma introdução para o ensino de ondas sonoras.	Levar o aluno a construir um modelo explicativo que descreva a produção	Aplicação de atividade de observação da produção do	Qualitativa.	Para alunos de nono ano do Ensino

		do som pelo aparelho fonador.	som por objetos e pelo corpo humano.		Fundamental.
c) Ouvido mecânico: um dispositivo experimental para o estudo da propagação e transmissão de uma onda sonora.	Apresentar um material de baixo custo para apoio ao ensino de ondas sonoras.	Elaboração de dispositivo experimental que simula ouvido humano.	Qualitativa.		Para alunos de segundo ano do Ensino Médio.
d) O uso do aparelho fonador para o ensino de ondas sonoras.	Levar o aluno a construir um modelo explicativo que descreva a produção do som pelo aparelho fonador.	Aplicação de atividade de observação da produção do som por objetos e pelo corpo humano.	Qualitativa.		Para alunos de segundo ano do Ensino Médio.
e) Hábitos auditivos e comportamento de adolescentes diante das atividades de lazer ruidosas.	Identificar atitudes e hábitos auditivos de adolescentes frente a ruídos.	Aplicação de questionário e análise por estatística descritiva.	Quantitativa.		Para alunos do Ensino Médio.
f) Ensino de ondas sonoras e saúde auditiva na perspectiva dos 3MP e no enfoque CTS.	Verificar os efeitos de uma sequência didática sobre ondas sonoras na aprendizagem deste tema.	Proposição de sequência didática sobre o tema de ondas sonoras.	Qualitativa.		Para alunos do segundo ano do Ensino Médio.
g) Visualize sua voz: uma proposta para o ensino de ondas sonoras.	Desenvolver e aplicar um produto educacional para o ensino de ondas sonoras.	Aplicação de produto educacional.	Qualitativa.		Para alunos do Ensino Médio.
h) De onde vem o som da voz?	Levantar os modelos mentais de alunos de oitavo e nono anos do Ensino Fundamental sobre produção do som.	Entrevistas semiestruturadas.	Qualitativa.		Para professores de oitavo e nono anos do Ensino Fundamental.

	i) Um recurso didático para o ensino de física, biologia e música.	Disponibilizar um recurso didático interdisciplinar e potencialmente significativo.	Utilização de painel sobre audição como recurso didático para o ensino de som.	Qualitativa.	Para professores de Ciências, Física e Biologia, de Ensino Fundamental e Médio.
	j) Students' Learning of a Generalized Theory of Sound Transmission from a Teaching–Learning Sequence about Sound, Hearing and Health.	Analisar a influência de uma sequência didática na compreensão dos estudantes sobre ondas sonoras.	Aplicação de questionário sobre ondas antes e depois da sequência didática.	Qualitativa e quantitativa.	Para professores de Física.
	k) O estudo das ondas sonoras por meio de uma atividade didática envolvendo leitura de um texto de divulgação científica	O objetivo foi promover a discussão dos conceitos físicos relacionados ao estudo de ondas sonoras, percepção auditiva e uso do fone de ouvido.	Leitura de texto de divulgação científica sobre ondas sonoras.	Qualitativa.	Para alunos do Ensino Médio.
<b>1.4 - Física e Música</b>	a) Proposta para o ensino de ondas e acústica utilizando música e instrumentos musicais.	Obter uma maneira prática de ensinar conceitos da física do som.	Avaliação de conhecimento espontâneo dos alunos sobre ondas e acústica, em palestra sobre música e instrumentos.	Qualitativa.	Para alunos de segundo ano do Ensino Médio.
	b) Física e música em consonância.	Apresentar uma relação matemática para definir fisicamente as condições de consonância de ondas sonoras.	Análise das condições físicas e matemáticas da consonância.	Qualitativa.	Para professores de física e música.

	c) A física do violino.	Descrição geral da física do violino, analisando os conceitos físicos que expressam sua produção de som.	Discussão da resposta acústica do violino e da produção do seu som característico.	Qualitativa.	Para professores de física e música.
	d) O som, seus parâmetros e a música: o ensino dos elementos musicais.	Propor alternativa de ensino de elementos musicais mediante sua observação como fenômeno físico.	Pesquisa teórica e de campo, com vistas a produzir orientações pedagógicas para o ensino de música.	Qualitativa.	Para professores de física e música.
	e) Violão e guitarra como ferramenta para o ensino de física.	Propor atividades práticas para o estudo do som produzido por violões, guitarras e outros instrumentos de corda.	Análise, através de uma abordagem espectral, de amostras de sons produzidas por instrumentos de cordas.	Qualitativa.	Para alunos de segundo ano do Ensino Médio.
<b>1.5 - Aprendizagem de ondas sonoras</b>	a) A study of tertiary physics student's conceptualizations of sound.	Discutir a concepção que acadêmicos de física possuem sobre som.	Entrevistas com acadêmicos.	Qualitativa.	Para professores de física.
	b) Identifying students models of sound propagation.	Investigar os modelos mentais sobre ondas sonoras de estudantes que iniciaram os estudos dos conceitos de física.	Protocolo semi estruturado para entrevistar alunos antes e depois de aula prática.	Qualitativa.	Para alunos de primeiro e segundo anos do Ensino Médio.
	c) Le raisonnement des étudiants dans la physique des ondes.	Investigar modelos explicativos de estudantes sobre	Aplicação de questionário.	Quantitativa.	Para professores de física.

	ondas.			
d) Making sense of secondary science: research into children's ideas.	Descrever ideias de crianças sobre conceitos de ciências.	Elaboração de material de apoio para o ensino de ciências.	Qualitativa.	Para professores de ciências.
e) Obstáculos conceptuales en el aprendizaje de la energia de las ondas.	Investigar quais são os obstáculos conceituais que alunos de cursos de graduação em física e em engenharia possuem sobre o conceito de energia das ondas.	Aplicação de questionário.	Qualitativa.	Para professores de física.
f) O conceito de ondas na visão dos estudantes.	Investigar o que os alunos pensam sobre ondas e avaliar de que forma o conhecimento do senso comum pode interferir na aprendizagem de ondas sonoras.	Elaboração e aplicação de questionário para alunos de segundo ano do Ensino Médio.	Qualitativa e quantitativa.	Para professores de física.
g) University physics student's conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation.	Discutir as concepções que acadêmicos de física possuem sobre som.	Realização de entrevistas.	Qualitativa.	Para professores de Física.
h) Del evento sonoro al fenómeno físico: un estudio sobre las ideas que los estudiantes mantienen sobre el sonido.	Investigar as ideias dos estudantes sobre som.	Aplicação e análise de sequência didática sobre ondas sonoras para alunos do Ensino Médio.	Qualitativa.	Para professores de Física.

<b>1.6 - Inclusão</b>	a) Atividade para o ensino de ondas sonoras aos alunos surdos.	Possibilitar que os alunos surdos e ouvintes tenham as mesmas condições de assimilar o referido conteúdo.	Realização de atividade utilizando laboratório virtual.	Qualitativa.	Para alunos do Ensino Médio.
	b) Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio.	Propor experimentos com ondas sonoras e luminosas para alunos cegos e surdos.	Realização de experimento com ondas utilizando plataforma arduino.	Qualitativa.	Para alunos do Ensino Médio
	c) Ensino de Física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras.	Analisar o potencial didático de um experimento sobre ondas sonoras para alunos surdos.	Proposição de um experimento com ondas sonoras para alunos surdos.	Qualitativa.	Para alunos surdos do Ensino Médio.
<b>1.7 - Propostas diversas</b>	a) Atividade de ondas sonoras.	Levantamento da compreensão dos estudantes sobre som.	Realização de leitura de texto e aplicação de questionário.	Qualitativa.	Para professores de física.
	b) Uma proposta para a apresentação de conceitos de acústica no ensino médio.	Oferecer subsídios aos professores de física do Ensino Médio para o ensino de acústica.	Realização de análise das características acústicas de diferentes ambientes.	Qualitativa.	Para professores de física e Alunos do ensino Médio.
	c) Levantamento de trabalhos em ensino de física que investigam ondas sonoras.	Identificar tendências teóricas e metodológicas, instrumentos de coleta e tratamento de dados utilizados em trabalhos sobre ondas sonoras.	Análise de trabalhos publicados em periódicos que visaram a transposição didática, som, ondas, onda sonora, e acústica.	Qualitativa.	Para professores de física.
	d) O ensino de acústica	Fazer uma análise de	Avaliação dos	Qualitativa.	Para professores

	nos livros didáticos de física recomendados pelo PNLEM: análise das ligações entre a física e o mundo do som e da música.	como o conteúdo de ondas sonoras tem sido apresentado nos livros didáticos de Ensino Médio.	livros didáticos de Física utilizados nas escolas de Ensino Médio.		de Física.
--	---	---	--	--	------------

Dos 46 trabalhos analisados, apenas 9 se propuseram, de maneira mais sistematizada, propor uma atividade experimental com materiais concretos. E destes nenhum propôs uma atividade de baixo custo com materiais seguros e de fácil aquisição para analisar ressonância em tubos sonoros.

Além disso, vários trabalhos na área de ensino de ondas sonoras fazem uso do computador como instrumento de ensino. O uso dessa ferramenta tem sido cada vez mais difundido nos meios educacionais, assim como tem sido de grande valia para o ensino e a aprendizagem. Porém, os trabalhos que utilizam esse recurso dão ênfase nas representações gráficas das ondas e não enfatizam as características fisiológicas do som. Logo, há uma grande ênfase em deduções matemáticas e em quantificação de conceitos.

Exatamente por isso, acredita-se que uma atividade de observação e manipulação de objetos concretos, que expõe o aluno a uma observação do fenômeno físico real e não apenas de sua representação, seja mais eficaz para o ensino de ondas sonoras, por se tratar de um tema abstrato e presente no cotidiano do aluno.

Em alguns trabalhos, o conteúdo de ondas tem sido muito estudado por pesquisadores da área de Física moderna, mas, para o ensino de ondas sonoras, não se acredita ser necessário esse nível de contextualização, visto o grande número de exemplos práticos de ondas sonoras disponíveis e que podem ser analisados. A relevância de atividades práticas e contextualizadas, no ensino de som, está justamente no fato de que essas atividades possibilitam ao aluno vivenciar os fenômenos sonoros de uma maneira concreta e não apenas teórica ou virtual, experienciando o conceito a ser apreendido.

Além de computador e experimentos alternativos, 11 das pesquisas encontradas utilizaram o corpo humano como forma de contextualização do ensino de ondas sonoras. A vantagem desse tipo de abordagem é o fácil acesso à fonte sonora, porém, tem com desvantagem a pouca precisão, caso queira se fazer alguma medida das características do som.

As pesquisas que utilizam a música como forma de se contextualizar o ensino são bem atrativas e geram grande motivação no aluno, porém exigem do professor um conhecimento

que vai além da Física. Cabe, portanto, ao professor buscar esse conhecimento, para fazer uso dessa ferramenta. A análise da arquitetura de salas acústicas também pode ser utilizada como ferramenta para o ensino de som, mas praticamente não tem sido explorada em sala de aula.

O mesmo ocorre com o estudo do corpo humano, que também pode ser um instrumento muito rico de ensino em diferentes áreas, visto a sua abrangência e complexidade. O ensino de ondas sonoras, som e acústica pode ser amplamente contextualizado se tratar a voz como fonte sonora e o ouvido como receptor, promovendo o ensino interdisciplinar, apontado como um dos principais objetivos dos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999) – os quais têm como princípios fundamentais a interdisciplinaridade, a contextualização e a formação de um cidadão.

### **3.3 Conclusões sobre a Revisão de Literatura**

Nessa Revisão de Literatura sobre pesquisas em ensino de som, tubos sonoros e ressonância, foi evidenciada uma ênfase dada ao uso de computador, tanto como fonte sonora, por meio de caixas de som, quanto como receptor e decodificador de espectros sonoros, por meio de *softwares* especializados. A utilização de um ambiente virtual para o ensino de um conceito abstrato, como o som, deve ser cuidadosamente analisada e preparada para que não se limite apenas a uma quantificação de grandezas físicas, sem de fato promover uma aprendizagem do conceito a ser ensinado.

Nesse sentido, as propostas de atividades experimentais práticas com materiais concretos alternativos de baixo custo podem proporcionar uma melhor abordagem dos fenômenos sonoros, pois possibilitam ao aluno uma experiência real do fenômeno para a compreensão dos conceitos relacionados. Apesar disso, esse tipo de trabalho, em especial com o foco no tema de ressonância, não é facilmente encontrado.

Esta carência de trabalhos na área de ressonância em tubos sonoros é motivação para aprofundarmos nossa pesquisa de modo a contribuir para a reelaboração das ações dos professores em sala de aula, mostrando a dificuldade que os alunos possuem para compreender os conceitos abstratos sobre ondas sonoras, som e acústica, motivando a preparação de aulas contextualizadas e interativas, com materiais concretos que contribuam para a aprendizagem desses conceitos.



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa qualitativa empírica (DEMO, 2000). Este tipo de pesquisa tem como fonte direta de dados o ambiente natural (BOGDAN; BIKLEN, 1994). Ela é de caráter investigativo e seus pesquisadores direcionam seu foco mais para o processo que meramente para produtos ou resultados obtidos.

A abordagem da investigação qualitativa exige que o mundo seja examinado com a ideia de que nada é trivial, que tudo tem potencial para constituir uma pista que nos permita estabelecer uma compreensão mais esclarecedora do nosso objeto de estudo. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 49).

A abordagem adotada é a de análise do discurso, que se diferencia da análise de conteúdo por ser mais interpretativa e não tão focada na descrição do conteúdo do discurso. Tem uma teoria a priori que embasa o fazer do pesquisador desde o início da pesquisa.

A ênfase deste tipo de pesquisa está no conjunto de conceitos que direcionam o pesquisador nas escolhas: epistemológicas, que falam a respeito da natureza da relação estabelecida entre o objeto a que se quer pesquisar e o pesquisador; metodológicas, que definem o tipo e o método da pesquisa, técnicas e instrumentos utilizados para coleta e análise de dados; e ontológicas, que se referem à natureza e à forma da realidade a ser estudada.

Pesquisas qualitativas em educação têm, em geral, um enfoque hermenêutico e fenomenológico. As investigações qualitativas têm suas raízes no materialismo histórico e na dialética.

Os investigadores fenomenologistas tentam compreender o significado que os acontecimentos e interações têm para pessoas vulgares, em situações particulares. (...) Os fenomenologistas não presumem que conhecem o que as diferentes coisas significam para as pessoas que vão estudar. (...) aquilo que os fenomenologistas enfatizam é o componente subjetivo do comportamento das pessoas. Tentam penetrar no mundo conceitual dos seus sujeitos, com o objetivo de compreender como e qual o significado que constroem para os acontecimentos das suas vidas cotidianas. Os fenomenologistas acreditam que temos à nossa disposição múltiplas formas de interpretar as experiências, em função das interações com os outros e que a realidade não é mais do que o significado das nossas experiências. Consequentemente, a realidade é socialmente construída. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 53, 54).

Neste enfoque, esta pesquisa foi desenvolvida com a finalidade de verificar a influência de uma atividade proposta para alunos do segundo ano do Ensino Médio na atenuação de obstáculos epistemológicos em relação à aprendizagem do conceito de ressonância em tubos sonoros. Para isso, foi utilizada uma atividade prática, com materiais concretos e de baixo custo, em que os conceitos relacionados às ondas sonoras foram abordados.

Esta atividade prática não se limita apenas a uma aula de laboratório tradicional, com roteiro fechado e rígido para mera comprovação de leis físicas, cujo compromisso maior da atividade é o resultado. Nesta atividade optamos por uma abordagem mais investigativa, com certo grau de liberdade na obtenção de dados e com o foco maior na exploração de fenômenos físicos investigados, dando ao estudante autonomia nas análises dos dados e nas conclusões.

Neste tipo de atividade, destaca-se o papel do professor não como aquele que dita procedimentos, mas como mediador, em que:

O professor atua como um mediador entre o grupo e a tarefa, intervindo nos momentos em que há indecisão, falta de clareza ou consenso. Seu objetivo deve ser deixar que o grupo, progressivamente, assuma maior controle sobre sua atividade. Entretanto e, principalmente, ao iniciar cada tema novo, o professor deve monitorar mais cuidadosamente o progresso dos grupos. Essa é uma atividade que demanda muito esforço do professor, especialmente se há muitos grupos em sua turma. (BORGES, 2002; p. 307).

Também há uma preocupação em fazer questionamentos sobre o tema proposto antes e depois da realização da atividade prática. Todas as questões foram elaboradas com o objetivo de facilitar a aprendizagem. Inicialmente, foram feitos os seguintes questionamentos: *o que é ressonância e como ela é produzida em um tubo sonoro (situação-alvo)?* Logo, para a realização dessa atividade, foi elaborado um roteiro que consta no Apêndice 1 dessa dissertação.

O roteiro configura-se como um questionário utilizado como instrumento de coleta de dados constituído por uma série de perguntas, que devem ser respondidas por escrito. Este tipo de instrumento possui como vantagens a economia de tempo, a eficiência na coleta de um grande número de dados, obtenção de respostas exatas, e um tempo maior para a elaboração das respostas.

Os alunos formaram grupos de 3 ou 4 alunos para a realização da atividade, visando um melhor aproveitamento de espaço de sala de aula e uma melhor visualização dos tubos utilizados na atividade. Cada aluno recebeu um roteiro e deveria escrever sua resposta pessoal, que foi posteriormente entregue para o professor. Não foi objetivo dessa pesquisa analisar a influência da interação entre os alunos nas respostas dadas, sendo este um possível campo para pesquisas futuras.

#### **4.1 Descrição da Atividade**

A atividade proposta foi constituída por quatro momentos. O primeiro é uma introdução, em que o aluno deve ler um pequeno texto, contido no roteiro fornecido pelo

professor, sobre sistema fonador e tubos sonoros e, em seguida, responder a questões iniciais sobre som e ressonância.

O segundo momento consiste na observação e na análise de um tubo de garrafa pet de 45 cm de comprimento e 6 cm de diâmetro, fechado em uma extremidade e aberto em outra, contendo bolinhas de isopor em seu interior, sendo percorrido por uma onda sonora de 183Hz. Os alunos, então, devem identificar quais pontos possuem maior e menor vibração das bolinhas de isopor, calcular o comprimento de onda utilizando valores de velocidade e frequência conhecidos, calcular matematicamente o número de harmônico formado no tubo, fazer uma ilustração do movimento das bolinhas no tubo e verificar se o harmônico calculado está de acordo com o observado experimentalmente.

No terceiro momento, os alunos observam e analisam a propagação de uma onda de 1760Hz em um tubo de garrafa pet de 40cm de comprimento e 9,5cm de diâmetro, aberto em uma extremidade e fechado na outra por um êmbolo móvel. Os alunos, portanto, devem identificar, no tubo, com uma caneta permanente, os pontos onde o volume do som se expressa máximo e onde se expressa mínimo. Em seguida, devem fazer uma ilustração da onda sonora formada no tubo e, com base nessa ilustração, determinar o comprimento do tubo na formação dos quatro primeiros harmônicos formados.

Ainda nesse terceiro momento, o aluno é levado a uma discussão sobre a aplicação desses conceitos no cotidiano, observando o que ocorre com o volume do som em cada um desses pontos e contextualizando a ressonância ocorrida no tubo, com a que ocorre em instrumentos musicais de sopro – e até mesmo em nossa laringe.

O quarto e último momento desafia o aluno a utilizar o conceito de ressonância em tubos sonoros para propor uma melhor utilização de fontes sonoras, como o nosso sistema fonador, buscando a amplificação do som produzido pelas pregas vocais na laringe.

#### **4.2 Elaboração da atividade**

Descrever-se-á, agora, como se deu a elaboração de cada etapa da atividade proposta, bem como o detalhamento do roteiro fornecido aos alunos e a construção dos materiais utilizados em cada momento da atividade. Inicialmente, para identificação de possíveis obstáculos epistemológicos à aprendizagem do conceito de ressonância em tubos sonoros, foi realizada uma pesquisa (VILAS BÔAS; SOUZA FILHO, 2018) que consta no Apêndice 2 dessa tese, em que foram levantados quais os obstáculos epistemológicos que alunos do Ensino Médio possuem sobre o conceito de ressonância.

A pesquisa foi feita com 33 estudantes do Ensino Médio de uma escola pública da periferia de Campo Grande, Capital do Mato Grosso do Sul, sendo 12 estudantes do 3º ano, 19 estudantes do 2º ano e 2 estudantes do 1º ano. Os discentes do primeiro e do segundo ano ainda não haviam participado de aulas sobre o tema de ondas ou ressonância. Os estudantes do terceiro ano relataram ter feito uma pesquisa descritiva sobre o tema, solicitada pela professora do ano anterior, porém, reconheceram não lembrarem do conceito. Assim, vale ressaltar que os estudantes relataram que suas concepções sobre ressonância advêm de sua observação de situações do cotidiano.

Nesta pesquisa, foi aplicado um questionário no qual foram feitas as seguintes perguntas:

1. *O que é o som?*
2. *O que é uma onda sonora?*
3. *O que é Ressonância?*
4. *Onde você pode observar o conceito de Ressonância em seu dia a dia?*
5. *Quando ficamos resfriados e nossas narinas ficam congestionadas, percebemos uma mudança no som de nossa voz. Em sua opinião, porque isso acontece?*
6. *Quando uma pessoa com voz aguda canta próxima a uma taça de cristal, ela se quebra. Em sua opinião, porque a taça se quebra?*
7. *O violão é um instrumento musical composto basicamente por cordas presas a uma estrutura oca de madeira. Em sua opinião, porque essa estrutura deve ser oca?*
8. *O micro-ondas é um aparelho utilizado para aquecer os alimentos. Descreva com suas palavras como ele consegue aquecer os alimentos.*

As duas perguntas iniciais foram capazes de revelar se o estudante já possuía algum conceito formal ou informal das características mais gerais sobre ondas. As questões 3 e 4 foram direcionadas para aqueles que, embora tenham tido dificuldade em responder de forma sistematizada as questões anteriores, sugerindo não terem conhecimento do tema, pudessem verbalizar um conhecimento empírico, mesmo que desconexo, do que vem a ser ressonância.

Por fim, a última parte não se tratava de uma pergunta direta, mas de uma indireta. Com ela, buscou-se expor o estudante à definição do fenômeno de ressonância em ondas eletromagnéticas.

Desse modo, foram construídas as categorias de análise e investigados os possíveis obstáculos epistemológicos contidos nas respostas dos estudantes. Assim, os 10 obstáculos foram referenciados por OB1 à OB10, obedecendo à ordem apresentada inicialmente. Ademais, as 8 questões foram referenciadas por Q1 à Q8 e os 33 estudantes foram

identificados por E01 à E33, dos quais: de E01 a E12 são do 3º ano, de E13 a E31 são do 2º ano e E32 e E33 são do 1º ano.

As siglas NS, NR e C correspondem, respectivamente, a “não sabe”, “não respondeu” e “certo”. Segue a tabela com o levantamento dos obstáculos epistemológicos sugeridos nas respostas dos estudantes.

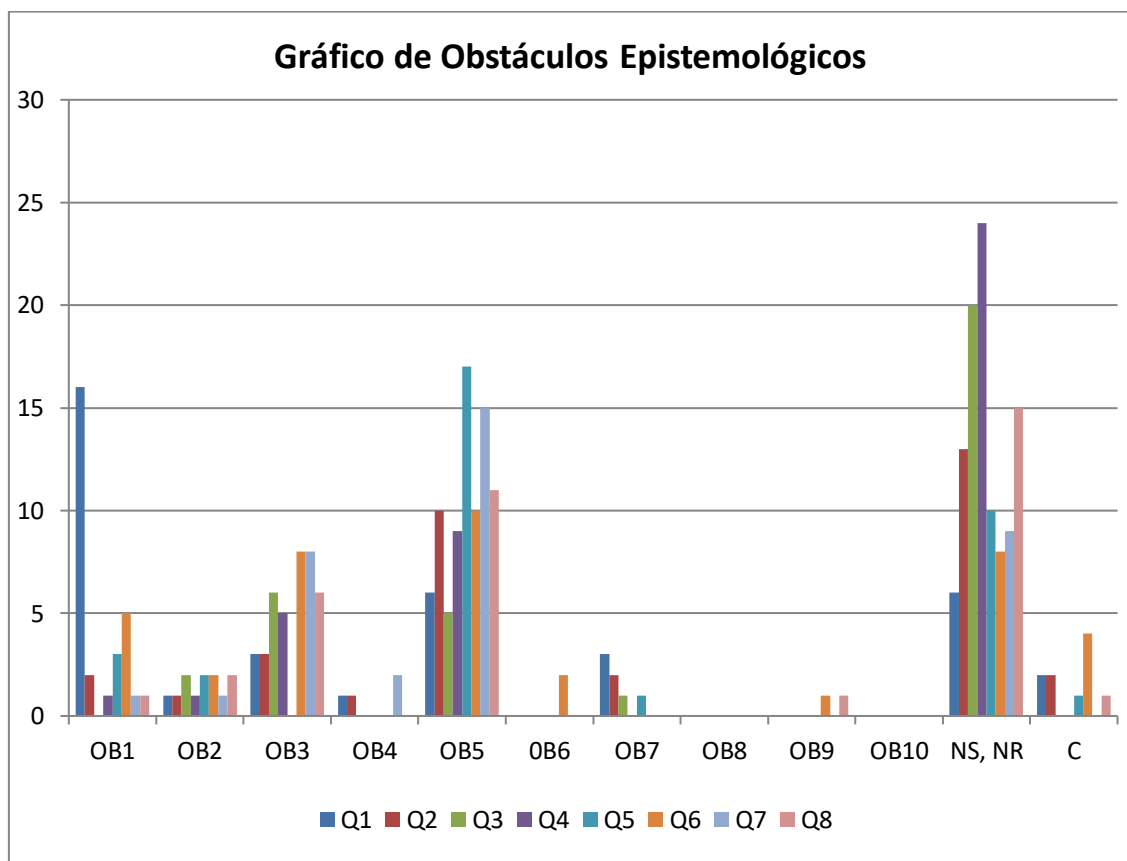
TABELA 2 – TABELA DE LEVANTAMENTO DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

		QUESTÕES							
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
<b>ESTUDANTES</b>	<b>E01</b>	OB3	OB3	OB5	OB5	OB2	C	OB5	OB3
	<b>E02</b>	OB3	NS	OB2	NR	OB5	OB3 OB5	OB5	C
	<b>E03</b>	OB7	OB7	OB5	OB3 OB5	OB5	OB5	OB3	OB5
	<b>E04</b>	OB5	OB5	OB5	NS	NS	OB1 OB9	OB5	OB3 OB5
	<b>E05</b>	OB5	NS	NS	OB5	OB5	OB5	OB5	NS
	<b>E06</b>	OB1	OB4	OB5	NS	OB7	OB3	OB2 OB3	NS
	<b>E07</b>	OB4	NS	NS	NS	OB2	OB3	NS	NS
	<b>E08</b>	NS	NS	NS	NS	NS	C	OB5	OB3
	<b>E09</b>	OB1 OB3	OB3	NS	NS	OB5	NS	OB5	OB3
	<b>E10</b>	OB1	OB7	NS	NS	OB5	OB2 OB6	NS	NS
	<b>E11</b>	OB1 OB7	OB3	NS	NS	NS	OB3	NS	NS
	<b>E12</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	<b>E13</b>	OB1	OB1	OB5 OB7	OB5	OB5	OB1 OB3	OB5	OB1
	<b>E14</b>	C	C	OB2	OB2 OB3 OB5	C	NR	NR	NR
	<b>E15</b>	C	OB5	OB3	OB1 OB5	OB5	OB5	OB1	OB3 OB5 OB9
	<b>E16</b>	OB1 OB5	OB5	OB3	OB3 OB5	NS	C	OB5	NS
	<b>E17</b>	OB1	OB5	OB3	OB3 OB5	OB5	OB1 OB3	OB3 OB5	OB2
	<b>E18</b>	OB1	NS	OB3	OB3 OB5	OB5	OB6	OB3	OB5
	<b>E19</b>	OB1 OB2	NS	OB3	NS	NS	OB3 OB5	OB3	OB3 OB5
	<b>E20</b>	OB1	NS	OB3	NS	NS	NS	NS	NS
	<b>E21</b>	OB5	OB5	NS	NS	OB5	NR	NR	NR
	<b>E22</b>	NS	OB2	NS	NS	OB5	OB3	OB5	OB5

<b>E23</b>	NS	NS	NS	NS	OB1 OB5	OB1 OB5	NS	OB5
<b>E24</b>	OB1	OB5	NS	NS	OB5	NS	OB5	OB5
<b>E25</b>	OB1	NS	NS	NS	OB1	OB2	OB5	OB5
<b>E26</b>	OB1	OB5	NS	NS	OB5	OB5	OB3 OB5	OB5
<b>E27</b>	OB1	OB5	NS	NS	OB5	OB5	OB4	OB5
<b>E28</b>	OB1	OB5	NS	NS	NR	NS	OB4	NS
<b>E29</b>	OB5 OB7	NS	NS	NS	OB1	OB5	OB3	NS
<b>E30</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>E31</b>	NS	NS	NS	NS	NS	OB5	OB5	NS
<b>E32</b>	OB1	C	NS	NS	OB5	OB1	OB5	OB2
<b>E33</b>	OB5	OB1 OB5	NS	NS	OB5	C	OB3	NS

Com base na tabela descrita, construímos o gráfico que relaciona os obstáculos epistemológicos identificados nas respostas dos estudantes com a quantidade de ocorrência de cada um deles.

GRÁFICO 1 – GRÁFICO DE LEVANTAMENTO DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS



O eixo horizontal corresponde aos obstáculos epistemológicos representados pelas siglas OB1 até OB10. Ainda no eixo horizontal está representado o quantitativo de alunos que responderam “Não sei” (NS), e que não responderam (NR) às questões propostas. Por fim, está indicado o quantitativo de alunos que responderam corretamente (C) a cada uma das questões. O eixo vertical corresponde à quantidade de alunos que emitiu a resposta indicada.

A partir da análise desses dados, então, foi possível perceber nas respostas dadas na questão 1, que o obstáculo epistemológico que ficou mais evidente foi o da experiência primeira (OB1), com respostas como “*Todo e qualquer “barulho” emitido por objetos*” (E06) e “*Tudo o que a gente escuta*” (E24). Nessas respostas, enfatizou-se muito a sensação que se tem com a recepção do som, em vez de tentar descrever sua definição.

Outro obstáculo sugerido nas respostas dos estudantes, porém com menos frequência, foi o obstáculo substancialista (OB5), ficando evidente em respostas como “*Som é quando algo vibra em alta escala provocando o som*” (E21).

Na segunda pergunta, o obstáculo que pareceu mais evidente foi o substancialista. Um exemplo de resposta que evidencia esse obstáculo é “*É uma música*” (E17), sugerindo o conceito de onda sonora como algo que, para o estudante, é concreto e substancial, mas não o suficiente para definir o conceito de onda sonora.

Para a terceira pergunta, os dois obstáculos que ficaram em evidência foram o obstáculo verbal (OB3) e o substancialista. Para o obstáculo verbal, destacam-se respostas como “*É um exame*” (E16, E17, E18, E19 e E20). Essa resposta sinaliza uma concepção empirista formada pela observação do cotidiano.

Além disso, pelo fato de ouvirem por várias vezes o termo Ressonância Magnética referente a um exame médico, os estudantes associaram fortemente o conceito com essa utilização específica, mostrando que esse termo interferiu diretamente na construção da definição do conceito de ressonância, configurando-se em um caso de obstáculo verbal.

Para o obstáculo substancialista, obtiveram-se respostas como “*A força que as ondas sonoras têm*” (E13). Esse tipo de resposta sugere a consideração apenas de características externas ao conceito, não o definindo de forma coerente com a científica.

Na quarta pergunta, obteve-se novamente a evidência dos obstáculos verbal e substancialista, porém com ênfase maior no segundo. Exemplo disso é a resposta “*Um ímã com pedaço de metal se atraem por conta do magnetismo do ímã*” (E14), sugerindo um obstáculo verbal originado no termo Ressonância Magnética, e um obstáculo substancialista, ao dar a ideia de fenômeno definido externamente ao conceito.

Além disso, nas questões Q3 e Q4, 20 dos 33 estudantes participantes declararam que não sabiam a resposta da pergunta proposta. Isso pode evidenciar a dificuldade que possuem em compreender o tema ressonância e o quão distante a definição desse conceito está para eles, apesar de se depararem com esse fenômeno constantemente.

Na análise das respostas dadas à quinta questão, o obstáculo que se mostrou mais evidente foi o substancialista, externado em respostas como *“Pois o som precisa de espaço para se propagar”* (E02) e *“Sim, o acúmulo de secreção atrapalha o caminho do som”* (E32). Estas respostas sugerem a ideia de que o som tem um corpo, ocupa espaço, e é uma substância. Para a sexta questão, o obstáculo substancialista mais uma vez se evidenciou. Exemplo disso são respostas como *“Porque não tem força para aguentar nada que seja frágil”* (E03) e *“Porque é de vidro”* (E29).

Esse padrão se repetiu nas respostas dadas às questões sete e oito com frases como *“Para o som sair porque senão de maneira nenhuma sairá som”* (E13) e *“Para que o som de um alcance possa sair de dentro para fora”* (E26). Além disso, para a questão sete: *“Com ondas de calor”* (E09), e *“Pelas ondas sonoras quentes”* (E15) para a questão oito.

Assim, a análise das respostas dadas sugere que os obstáculos epistemológicos mais evidentes no cognitivo dos estudantes sejam os obstáculos verbais e substancialistas. O primeiro ficou evidente em respostas como *“É um exame”* (E16, E17, E18, E19 e E20) e *“Ressonância magnética é um negócio de ver o corpo”* (E03). Sendo que essas respostas sinalizam uma concepção empirista formada pela observação do cotidiano.

Ademais, pelo fato de ouvirem por várias vezes o termo Ressonância Magnética referente a um exame médico, os estudantes associaram fortemente o conceito com essa utilização específica, mostrando que esse termo interferiu diretamente na construção da definição do conceito de ressonância, configurando-se em um caso de obstáculo verbal.

Para o obstáculo substancialista, obtiveram-se respostas como *“A força que as ondas sonoras têm”* (E13), *“Para o som sair porque senão de maneira nenhuma sairá som”* (E13) e *“Pelas ondas sonoras quentes”* (E15), sugerindo a consideração apenas de características externas ao conceito, não o definindo de forma coerente com a científica – característica encontrada na análise de várias respostas.

Contudo, um resultado que gerou surpresa, foi a pouca ocorrência de respostas que sugerem o obstáculo epistemológico da experiência primeira e o obstáculo animista. Apesar de serem constatados em algumas respostas dadas à questão número 1, sobre som, não foram encontradas suas ocorrências nas respostas dadas à questão número 3 e 4, sobre ressonância. Ao invés disso, percebeu-se muitos estudantes relatando o desconhecimento do conceito.



Assim, acredita-se que esse fato se deu, pois, apesar de observarem o fenômeno de ressonância ocorrendo em todo o tempo em cavidades nasais, em caixas acústicas de violões e em aparelhos de micro-ondas, o único lugar onde o termo ressonância é utilizado, é no exame clínico conhecido como Ressonância Magnética, dando aos estudantes uma visão distorcida e limitada do conceito.

#### 4.2.1 Primeiro Momento: Questões iniciais

Com base no levantamento de obstáculos epistemológicos à aprendizagem do conceito de ressonância, o primeiro momento dessa atividade foi pensado para levar o aluno a identificar o fenômeno de ressonância em outras situações, como a que ocorre em tubos. Inicialmente, o discente deve ler o texto de apoio sobre aparelho fonador e ondas sonoras, disponibilizado no roteiro pelo professor. O texto disponibilizado foi o seguinte:

##### ***Sistema fonador***

*A voz é um dos principais sons emitidos pelo corpo humano. Ela é produzida por um conjunto de órgãos chamado sistema fonador. Ele é composto por órgãos do sistema digestivo, respiratório e pela boca. A voz é produzida na laringe, onde se localizam as pregas vocais. Ao respirarmos as pregas vocais se abrem e o ar entra e sai dos pulmões. Ao falarmos o diafragma relaxa, e ao relaxar comprime os pulmões e o ar é expulso. Ao ser expulso, o ar passa por duas pregas localizadas na faringe, as chamadas pregas vocais. Elas se aproximam e o ar que sai dos pulmões faz com que elas se perturbem produzindo uma vibração que dá origem ao som da voz.*

*No momento em que as pregas vocais estão mais tensionadas, a frequência de vibração é maior, produzindo um som mais agudo. Se as pregas vocais estão menos tensionadas, o número de vezes que elas vibram, a cada segundo, é menor, ou seja, a frequência de vibração é menor, produzindo um som mais grave. A laringe se movimenta deixando as pregas vocais mais ou menos tensionadas (esticadas), o que nos ajuda a produzir sons agudos e graves.*

*Podemos controlar voluntariamente o grau de tensão das pregas vocais e com isso modulamos a nossa voz. O som produzido passa pela laringe, faringe e cavidades nasais e é articulado na boca, dentes, língua, lábios, mandíbula e*

palato (céu da boca). Estas estruturas criam uma resistência à passagem do ar e modificam o som produzindo a fala. Ver Figura 1.

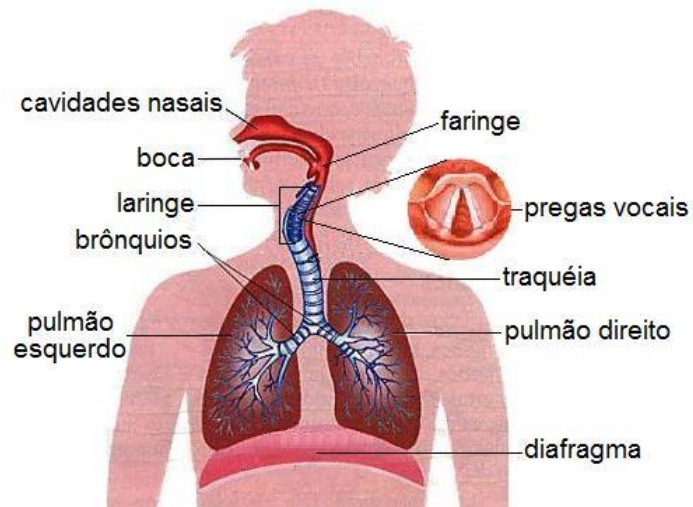


Figura 1. Nome dos principais órgãos do Sistema Fonador (LEAL, 2009).

### **Tubos Sonoros**

*Tubos sonoros são aqueles que emitem sons ao serem percorridos por colunas de ar, como flautas, clarinetes, saxofones, apitos, cornetas, nossa laringe, entre outros. Nesta coluna de ar são produzidas ondas estacionárias longitudinais e as extremidades destes tubos podem ser abertas ou fechadas.*

*Em um tubo fechado em uma de suas extremidades, as perturbações provocadas no ar por uma fonte de onda sonora se propagam pelo tubo e sofrem reflexões. A onda refletida possui a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda da onda emitida pela fonte sonora. Elas se sobrepõem gerando pontos de interferência construtiva, onde as amplitudes das ondas se somam, e interferência destrutiva, onde as amplitudes das ondas se subtraem, configurando assim uma onda estacionária.*

*Em tubos sonoros fechados podemos ilustrar as ondas estacionárias da seguinte forma (Ver Figura 2):*

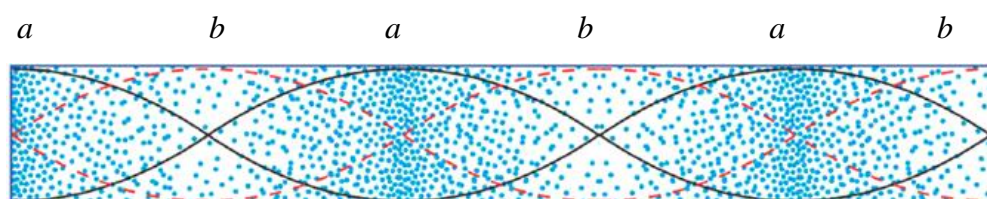


Figura 2. Ondas sonoras em tubos fechados (PIZETTA, 2017).

Estão representadas na Figura 2 algumas regiões de compressão (a) e rarefação (b) do ar. Os pontos azuis representam a densidade das partículas de ar em cada região. A linha vermelha pontilhada representa a amplitude do deslocamento das moléculas de ar no interior do tubo e a linha preta contínua representa a amplitude da pressão exercida pelas moléculas de ar em cada região.

Na extremidade aberta, sempre será formada uma região de rarefação, onde as partículas de ar se movimentam mais, por conta disso há uma menor concentração de partículas de ar nesta região. Na extremidade fechada sempre será formada uma região de compressão, onde as partículas de ar vibram menos, por conta disso há uma maior concentração de partícula de ar nesta região. O comprimento do tubo é representado pela letra  $L$ . Cada um dos modos de vibração da onda dentro de um tubo é chamado de harmônico, e é representado pela letra  $n$ . Para o tubo fechado temos a seguinte representação:

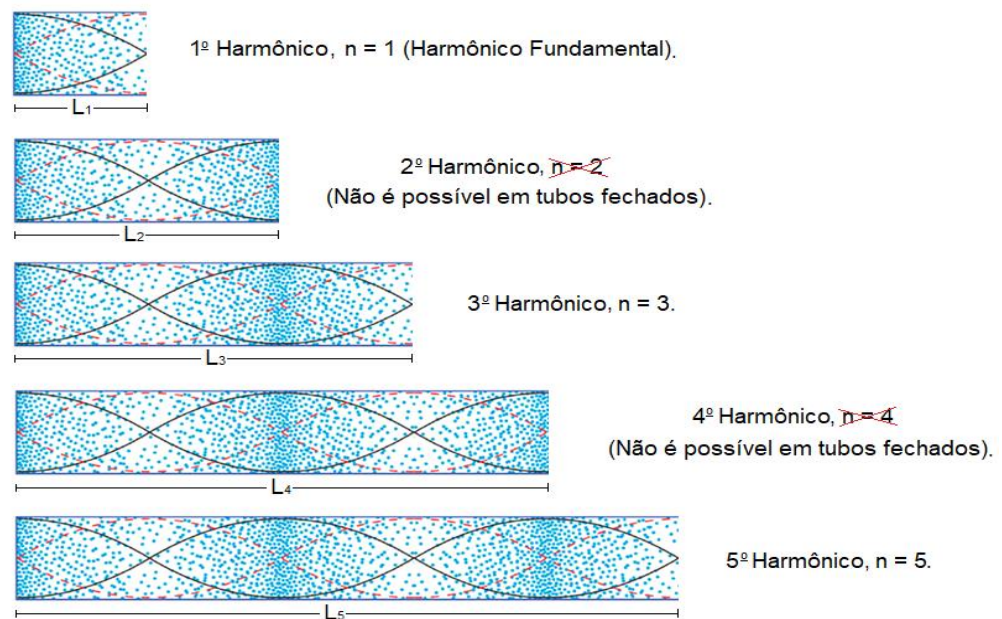


Figura 3. Harmônicos em tubos fechados (PIZETTA, 2017).

Percebemos que o comprimento do tubo  $L$  será sempre múltiplo ( $n = 1, 3, 5, 7, \dots$ ) de um quarto do comprimento de onda  $\lambda$ . Temos então que:

$$L = \frac{n \cdot \lambda}{4}$$

*Os pontos de maior pressão, onde há compressão do ar (a), estão relacionados com os maiores volumes de sons produzidos no tubo sonoro. Já os pontos de menor pressão, onde há rarefação do ar (b), estão relacionados com os menores volumes de sons produzidos no tubo sonoro. Com a observação desses pontos de volume máximo e mínimo podemos estimar o comprimento de onda da onda sonora propagada dentro do tubo.*

*Também podemos estimar o valor da velocidade do som dentro do tubo sabendo que a velocidade  $v$  de uma onda é dada pelo produto entre o comprimento de onda  $\lambda$  e a frequência  $f$  da onda produzida. Assim temos que:  $v = \lambda \cdot f$*

*Trataremos neste experimento do comportamento de tubos fechados de comprimento variável e contextualizaremos os conceitos abordados na compreensão do funcionamento de diferentes tubos sonoros, em especial nossa laringe, que funciona como um tubo fechado em uma de suas extremidades, amplificando o som produzido pelas pregas vocais e produzindo diferentes tipos de harmônicos.*

Após a leitura deste texto, os alunos são levados a responder às seguintes questões:

- a) *O que é ressonância?*
- b) *Quais fenômenos ondulatórios são necessários para que a ressonância ocorra?*
- c) *É possível que a ressonância ocorra em tubos sonoros? Por quê?*
- d) *Qual equação relaciona o comprimento de onda com o comprimento de tubos sonoros fechados?*
- e) *Qual equação relaciona a velocidade do som com a frequência e o comprimento de onda?*

#### 4.2.2 Segundo Momento: Experimento com tubo de 45 cm de comprimento

O segundo momento consistiu-se na observação e na análise de um tubo de garrafa pet de 45 cm de comprimento e 6 cm de diâmetro, aberto em uma extremidade e fechado na outra. Esse segundo momento, contudo, foi inserido na atividade após uma pesquisa piloto (VILAS BÔAS; SOUZA FILHO, 2019) feita para testar a atividade proposta. Inclusive, o artigo que relata essa pesquisa está no Apêndice 3 dessa tese.

Nessa pesquisa, constatou-se a necessidade de se fazer uso de um apelo visual para o ensino de ondas em tubos. Essa pesquisa mostrou que os alunos têm dificuldade de diferenciar as amplitudes máximas e mínimas de vibração de uma onda. Por conta disso, utilizou-se o chamado Tubo de Kundt.

Esse tubo foi desenvolvido pelo físico alemão August Adolf Eduard Eberhard Kundt, nascido em Schwerin, especialista em som e em luz. Em 1866, Kundt desenvolveu o método de estudo de ondas sonoras, através do ar, em tubos. Com isso, ele pôde analisar a formação dos harmônicos e teve a possibilidade de medi-los. Por conta deste fato, o aparato passou a ser chamado de Tubo de Kundt e permitiu ao cientista medir a velocidade do som em diversos gases e ambientes (CAVALCANTE; RODRIGUES; PONTES, 2013).

Porém, cabe ressaltar que esse modelo de tubo é constituído por material rígido, como acrílico ou vidro. Nesse sentido, já existem tubos assim sendo comercializados, os quais possibilitam a visualização da vibração das ondas sonoras, mas o alto preço desses materiais inviabiliza a aquisição para utilização por parte da grande maioria dos professores em nosso país. Além disso, no caso do tubo de vidro, ainda há o risco de quebra do material com apenas um pequeno esbarrão.

Uma solução para isso é utilizar materiais de baixo custo, ou reutilizar materiais que seriam descartados, como garrafas “pet”, preservando o meio ambiente. Com essa motivação, optou-se por construir uma versão adaptada do tubo, utilizando garrafas “pet”, por serem transparentes, de fácil manipulação, fácil aquisição e sua reutilização ainda promove a preservação ambiental.

Outra adaptação feita foi em relação ao material colocado dentro do tubo para vibrar. Inicialmente, foram utilizadas bolinhas de isopor de 10mm de diâmetro, porém elas não vibravam de maneira satisfatória. A opção, então, foi utilizar bolinhas de isopor de 1mm de diâmetro, encontradas facilmente em enchimentos de almofadas e em bichinhos de pelúcia.

Porém, algumas dificuldades foram encontradas. A garrafa pet não é tão rígida quanto o necessário para a construção de um tubo de Kundt. Essa flexibilidade excessiva acaba ocasionando uma perda substancial de energia para o meio, inviabilizando assim a visualização da vibração das bolinhas de isopor dentro do tubo.

A partir disso, foram feitos alguns testes com tubos de diferentes comprimentos, grandes e pequenos, inicialmente com 115 cm e posteriormente com 45 cm, e também de diferentes diâmetros, inicialmente com 9,5 cm e posteriormente com 6 cm. Ademais, também foi feito um teste de revestimento do tubo de garrafa “pet” com cano de PVC de diâmetro similar, deixando apenas uma pequena abertura em seu comprimento, para visualização da

vibração das bolinhas de isopor no interior do tubo, como pode ser observado na Figura 24, que ilustra o protótipo feito.

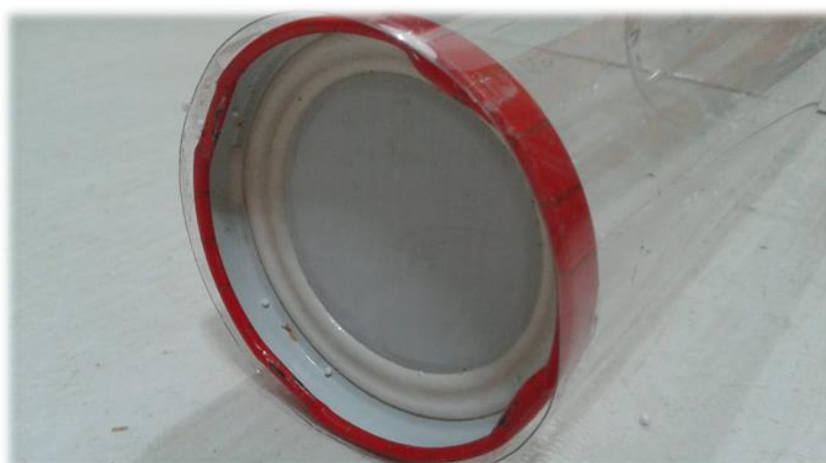
FIGURA 24 - PROTÓTIPO INICIAL DE TUBO DE KUNDT.



FONTE: Elaborada pela autora.

Esse protótipo também não proporcionou o efeito desejado. Contudo, após vários testes, encontrou-se o resultado esperado em um tubo de garrafas “pet” de 45 cm de comprimento e 6 cm diâmetro. Na extremidade fechada utilizamos uma tampa metálica com diâmetro bem ajustado ao diâmetro interno do tubo de garrafa pet. Assim, a tampa foi fixada com fita adesiva plástica transparente, como pode ser observado na Figura 25.

FIGURA 25 - TUBO DE GARRAFA “PET” FECHADO COM TAMPA METÁLICA.

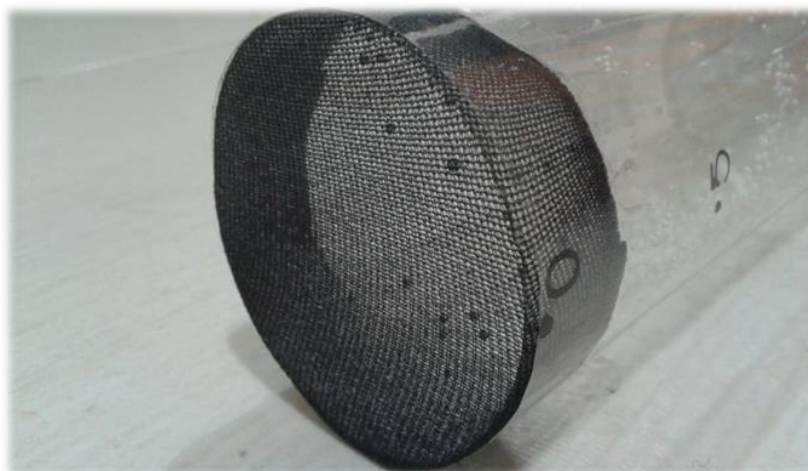


FONTE: Elaborada pela autora.

Dentro do tubo, então, foi colocado cerca de 50 ml das bolinhas de isopor de 1 mm de diâmetro e, na extremidade aberta, para que as bolinhas de isopor não caíssem, foi fixada, com fita adesiva transparente, uma contenção de nylon a qual pode ser obtida com um recorte de meia calça, como pode ser observado na Figura 26, que ilustra essa extremidade aberta.



FIGURA 26 - CONTENÇÃO DE NYLON FIXADA NA EXTREMIDADE ABERTA



FONTE: Elaborada pela autora.

Para facilitar a análise do tubo, foram marcados com caneta marcador permanente, os pontos de cinco em cinco centímetros no tubo. Após a montagem do tubo de Kundt adaptado, buscou-se encontrar uma frequência que melhor se aproximasse da frequência natural de sua vibração. Assim, o valor de frequência que apresentou o resultado mais satisfatório foi o de 183Hz. Nesta, o tubo vibra em seu harmônico fundamental. Ademais, as frequências de vibração dos harmônicos seguintes não provocaram vibração satisfatória das bolinhas de isopor, por conta disso, deve se ater à visualização do primeiro harmônico.

FIGURA 27 - TUBO DE KUNDT FEITO DE GARRAFA “PET” E BOLINHAS DE ISOPOR VIBRANDO COM ONDA SONORA DE 183HZ



FONTE: Elaborada pela autora.

Além disso, para a realização desse segundo momento da atividade proposta, o aluno precisa fazer uso de um gerador de frequência, o qual pode ser adquirido por meio de *download* gratuito em celulares, tablets ou computadores. Em nossa atividade, portanto, foi utilizado um gerador disponível para *download* gratuito em <[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.boedec.hoel.frequencygenerator&hl=pt\\_BR](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.boedec.hoel.frequencygenerator&hl=pt_BR)>, acessado em 11 de janeiro de 2020. Inclusive, o *software* é de fácil utilização e possibilita a emissão de várias frequências. Assim, foi feito o *download* em um celular e, para promover a vibração das bolinhas de isopor, o aparelho foi conectado a uma caixa de som, dessas utilizadas no cotidiano.

Na aplicação dessa atividade, utilizou-se uma caixa de som de 100W de potência e diafragma de 8 polegadas de diâmetro, porém essas especificações não são determinantes para a aplicação da atividade. Visto que também é possível utilizar outras fontes sonoras, ficando a cargo de cada professor a escolha da fonte que melhor se adéqua à sua realidade.

Após montado, o tubo de Kundt deve ser posicionado com a extremidade aberta voltada para a fonte sonora, que está ajustada por meio do gerador de frequência para emitir uma onda sonora com frequência de 183Hz. Para isso, pode-se observar a Figura 28, que ilustra a montagem do dispositivo utilizado no segundo momento dessa atividade.

FIGURA 28 - MONTAGEM DO DISPOSITIVO UTILIZADO NO SEGUNDO MOMENTO DA ATIVIDADE PROPOSTA

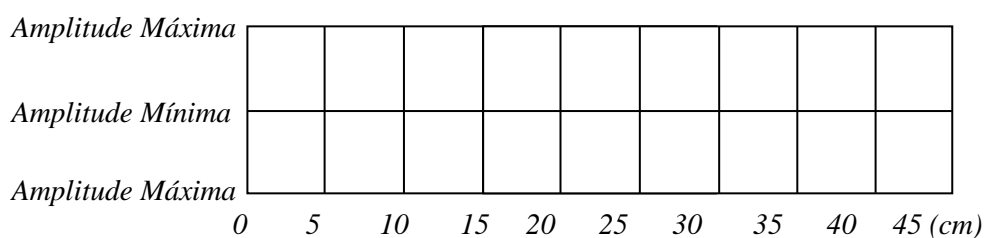


FONTE: Elaborada pela autora.



Assim, no roteiro fornecido ao aluno, os itens de *a* à *d* desse segundo momento davam instruções sobre a montagem do equipamento. Nesse sentido, os itens seguintes continham questões sobre o tubo, sendo que as perguntas feitas neste segundo momento foram:

- e) *Identifique quais pontos possuem maior vibração das bolinhas de isopor.*
- f) *Identifique quais pontos possuem menor vibração das bolinhas de isopor.*
- g) *Determine o comprimento  $\lambda$  da onda sonora que se propaga dentro do tubo, sabendo que a velocidade  $v$  do som no ar é aproximadamente 330 m/s e a frequência  $f$  da onda produzida é de 183Hz. Para isso, você pode utilizar a relação  $v = \lambda \cdot f$ .*
- h) *Identifique o harmônico  $n$  produzido no tubo sabendo que o comprimento do tubo é 45cm. Para isso, você pode utilizar a relação  $L = n \cdot \lambda/4$ .*
- i) *Faça uma representação da onda produzida no tubo, com base no exemplo dado na Figura 3.*



- j) *Compare a representação da onda feita acima com os pontos de máxima e mínima vibração das bolinhas de isopor observados dentro do tubo. A ilustração feita está de acordo com o movimento das bolinhas de isopor observado dentro do tubo? Por quê?*

Portanto, ao concluir as respostas dessas questões, os alunos deram início ao terceiro momento da atividade.

#### 4.2.3. Terceiro Momento: Experimento com tubo de 40 cm de comprimento.

Para esse momento, foi proposta a análise de um tubo, também feito de garrafa “pet”, porém de 40 cm de comprimento e 9,5 cm de diâmetro, sendo que coluna de ar dentro do tubo tem seu comprimento variável por um êmbolo interno, feito de papelão e madeira. Além

disso, a fonte sonora foi posicionada na base do tubo para a qual foi utilizado um aparelho celular com um aplicativo gerador de frequência instalado.

Na construção do tubo, foram utilizadas duas garrafas “pet” retas e transparentes de dois litros cada. É importante que as garrafas sejam lisas e retas, pois isso viabiliza a movimentação do êmbolo em seu interior.

Assim, as garrafas foram cortadas e fixadas uma a outra com fita adesiva larga transparente, aplicadas na parte externa e interna para facilitar a passagem do êmbolo, como se pode observar na Figura 29.

FIGURA 29 - GARRAFAS PET PARA CONFECÇÃO DE TUBOS SONOROS



FONTE: Elaborada pela autora.

Para a construção do êmbolo foi utilizado uma vareta de bambu de 60 cm e dois círculos de diâmetro similar ao da garrafa pet, aproximadamente 9,5 cm, sendo um de papelão e outro de embalagem longa vida, colados adequadamente. É necessário, portanto, que o diâmetro do êmbolo seja bem ajustado ao da garrafa.

Esse círculo de papelão foi utilizado para proporcionar maior firmeza ao êmbolo, enquanto que o círculo feito com embalagem longa vida foi utilizado para proporcionar uma melhor reflexão das ondas sonoras. Nesse sentido, outra opção é a utilização de círculos metálicos.

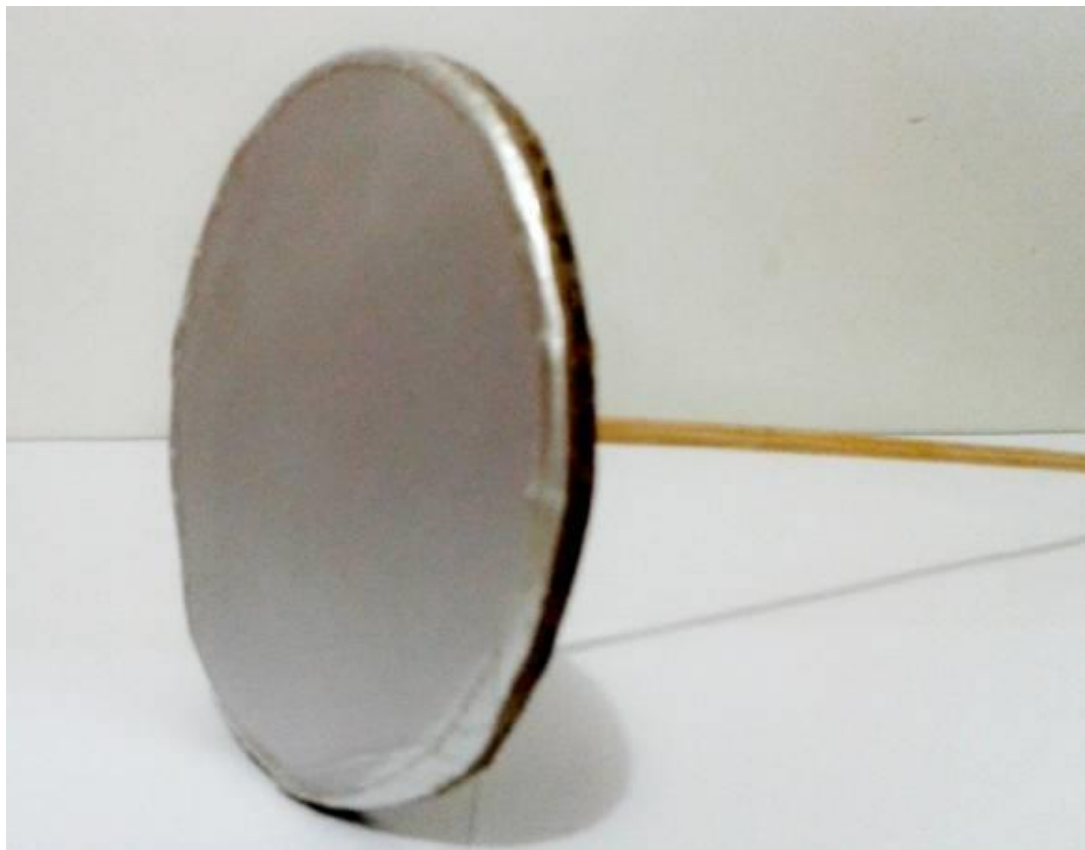
Ademais, a vareta de bambu foi fixada no centro do círculo de papelão com cola de silicone e o círculo de embalagem longa vida foi fixado no círculo de papelão também com cola de silicone. Por fim, foi aplicada uma fita adesiva transparente na lateral dos círculos para facilitar o seu movimento no interior do tubo, concluindo-se assim a confecção do êmbolo, como pode-se observar nas Figuras 30.a e 30.b.

FIGURA 30 - A) CÍRCULO DE PAPELÃO.



FONTE: Elaborada pela autora.

FIGURA 30 - B) CÍRCULO DE EMBALAGEM LONGA VIDA.

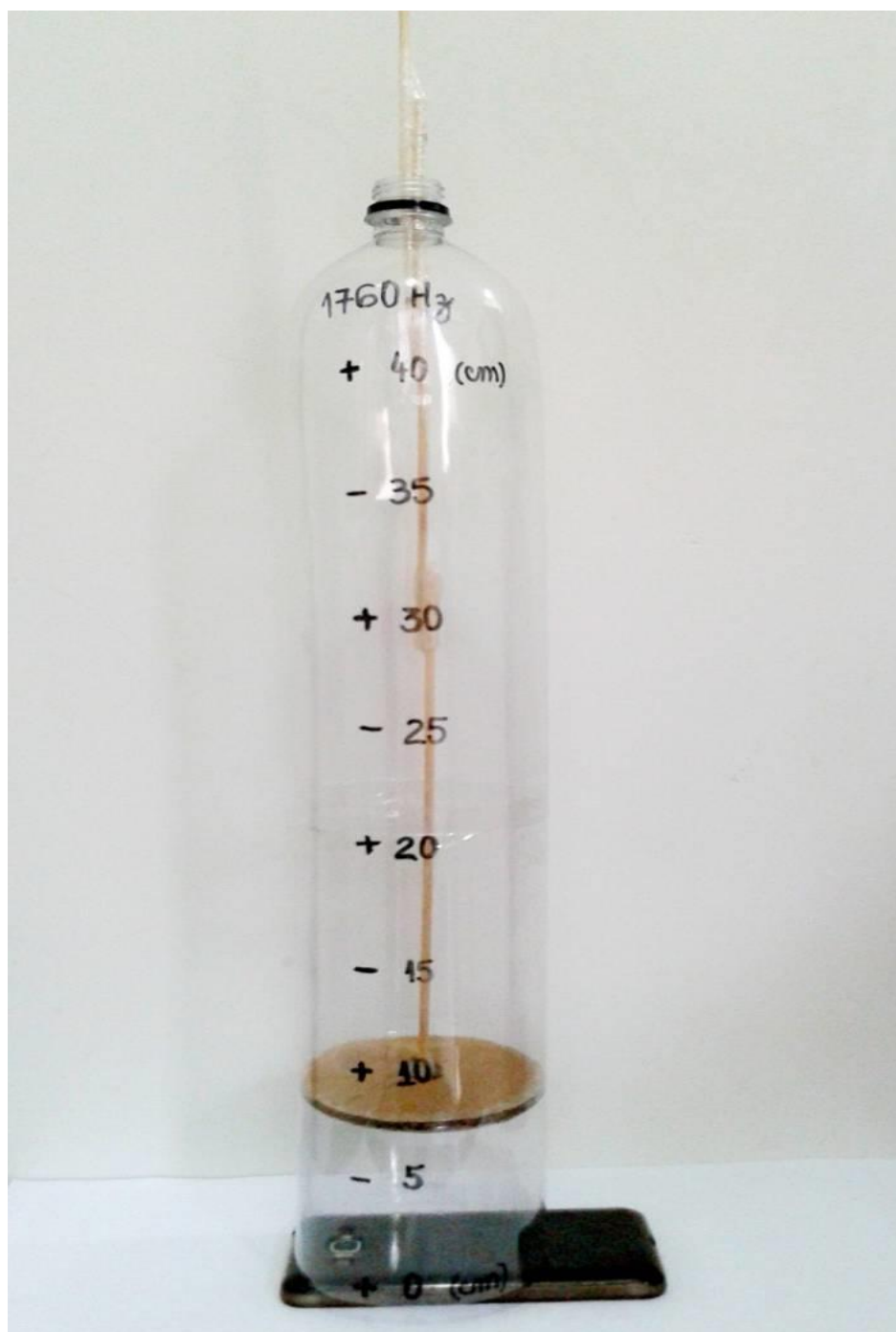


FONTE: Elaborada pela autora.

O êmbolo foi posicionado, então, no interior do tubo de garrafa pet. A movimentação do êmbolo dentro do tubo possibilita a variação no comprimento do tubo sonoro e a análise do comportamento do som em seus diferentes modos de vibração, bem como da relação entre a variação dos comprimentos do tubo e seus harmônicos produzidos.

A frequência definida, para essa análise, foi de 1760Hz, por possibilitar a visualização de uma quantidade maior de pontos de volume máximo e mínimo, identificados no tubo com o sinal positivo (+) e negativo (-), respectivamente, como ilustrado na Figura 31.

FIGURA 31 - DISPOSITIVO DE TUBO SONORO, CONSTITUÍDO POR UM TUBO DE GARRAFA PET, UM ÊMBOLO DE PAPELÃO E UMA FONTE SONORA CONTIDA EM UM CELULAR, POSICIONADA NA BASE DO TUBO.



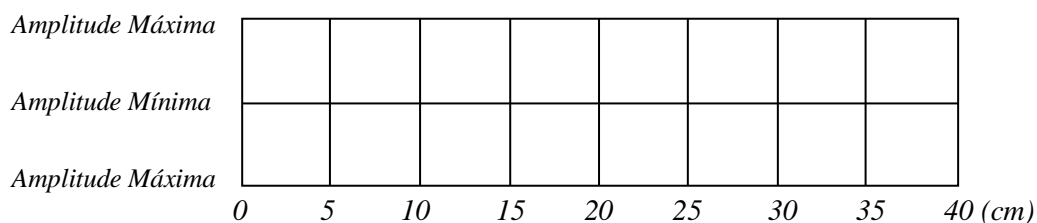
FONTE: Elaborada pela autora.

Deve-se destacar que a fonte sonora utilizada foi um celular. Nesse sentido, para utilizar o celular como fonte sonora, foi necessário instalar um *software* gerador de frequências já citado anteriormente. Nesse tubo, então, não houve a necessidade de utilizar a caixa de som, pois apenas o celular já produziu o efeito desejado.

Ademais, ao movimentar o êmbolo por todo o comprimento do tubo, o aluno tem a possibilidade de identificar nele, utilizando uma caneta marcador permanente, os pontos onde a intensidade do som é máxima com um sinal positivo (+) e os pontos onde a intensidade do som é mínima com um sinal negativo (-).

Assim, no roteiro fornecido aos alunos, os itens de *a* à *d* desse terceiro momento davam orientações sobre a montagem do dispositivo, e os itens seguintes foram compostos por questões propostas aos alunos sobre o tubo, as quais foram as seguintes:

*e) Faça uma representação da onda produzida no tubo, com base no exemplo dado na Figura 3.*



*f) Com base na representação feita, determine o comprimento da onda produzida no tubo.*

Agora, utilizando a relação: 
$$L = \frac{n \cdot \lambda}{4}$$

*g) Determine o comprimento do tubo quando o primeiro harmônico da onda sonora é produzido.*

*h) Determine o comprimento do tubo quando o segundo harmônico da onda sonora é produzido.*

*i) Determine o comprimento do tubo quando o terceiro harmônico da onda sonora é produzido.*

*j) Determine o comprimento do tubo quando o quarto harmônico da onda sonora é produzido.*

*k) Descreva o que ocorre com o volume do som quando o êmbolo está nas posições determinadas acima.*

Ainda no terceiro momento desta atividade, após a análise da onda formada no tubo, foi proposta uma discussão sobre o fenômeno observado no tubo de 40 cm com as seguintes questões:

- a) *Explique porque existem pontos dentro do tubo onde o volume do som é máximo e pontos onde o volume do som é mínimo.*
- b) *Descreva quais fenômenos ondulatórios ocorrem com a onda sonora dentro do tubo.*
- c) *Cite pelo menos três situações onde poderíamos utilizar estes conceitos de tubos sonoros.*
- d) *Como poderíamos aumentar o volume do som produzido nas três situações citadas acima, utilizando o conceito de ressonância?*

Por fim, com a coleta das respostas para essas questões, encerra-se o terceiro momento proposto para essa atividade e dá-se início ao quarto e último momento.

#### 4.2.4 Quarto Momento: Aplicação do conhecimento.

O quarto momento foi feito com o objetivo de verificar se o aluno seria capaz de utilizar as observações e análises feitas nos tubos propostos, juntamente com as ideias trazidas nos textos contidos no roteiro fornecido aos alunos, para a compreensão e a descrição do fenômeno de ressonância, demonstrando a superação dos possíveis obstáculos epistemológicos existentes à aprendizagem desse fenômeno em tubos sonoros.

Nesse sentido, esse momento é composto apenas pela seguinte questão: “*Nossa laringe tem o formato de um tubo por onde se propaga o som produzido com a vibração das pregas vocais. Como poderíamos utilizar o conceito de tubos sonoros para aumentar o volume do som produzido em nossa laringe?*”. Descreveremos, então, a seguir como essa atividade foi testada e quais foram os resultados obtidos.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente, uma primeira versão da atividade, composta por três momentos, foi elaborada e testada com alunos voluntários. A essa primeira testagem, atribuiu-se o nome de *pesquisa piloto*. Nessa primeira versão, então, verificou-se a necessidade de ajustes e uma segunda versão da atividade foi elaborada, agora com quatro momentos.

Essa segunda versão foi testada em uma sala de aula e foi validada, sendo necessário apenas alguns ajustes mais finos no material, os quais foram realizados. A essa segunda testagem atribuiu-se o nome de *validação da atividade*. Por fim, a versão final da atividade foi aplicada em sala de aula, dando origem ao resultado final dessa pesquisa e a essa etapa deu-se o nome de *aplicação da atividade*. Portanto, descrever-se-á, a seguir, cada etapa da pesquisa.

### 5.1 Pesquisa Piloto

A pesquisa piloto foi realizada com três alunos voluntários do segundo ano do Ensino Médio, durante 50 minutos fora do tempo de aula. O objetivo, nesse momento, foi de testar a atividade e de fazer possíveis ajustes para uma posterior aplicação em uma turma regular. Inclusive, os detalhes dessa pesquisa piloto estão descritos em artigo publicado (VILAS BÔAS; SOUZA FILHO, 2019) que consta no Apêndice 3 desta dissertação.

Ademais, para a realização dessa pesquisa piloto, os alunos receberam o tubo de garrafa pet de 40 cm sem as marcações dos pontos de volume máximo e mínimo. Receberam, também, o êmbolo, uma caneta de marcação permanente, uma régua e um roteiro. Por fim, foi solicitado que disponibilizassem um celular para a realização da atividade. Nesse sentido, apesar de os alunos já terem visto, em sala de aula, o conteúdo de tubos sonoros e ressonância, não conseguiram responder às perguntas feitas na parte inicial dessa atividade, apresentando apenas respostas de que não sabiam.

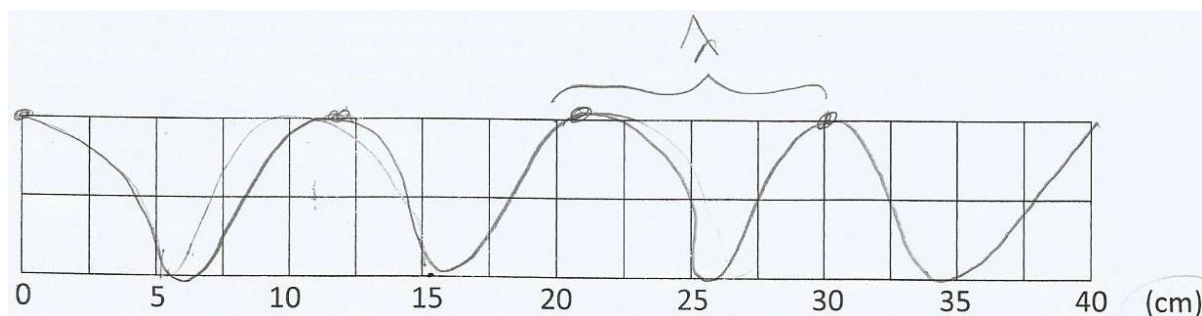
Já a segunda parte da atividade, consistia na análise da onda produzida pela fonte sonora no tubo. Nela, os alunos foram orientados a movimentar o êmbolo por todo o comprimento do tubo, a identificar pontos de máximo e de mínimo e a fazer uma representação da onda sonora observada.

Nesse sentido, com base na representação feita, eles foram orientados a determinar o comprimento de onda da onda estacionária produzida dentro do tubo e a velocidade do som



propagado. Porém, os alunos relacionaram equivocadamente os pontos de mínimo volume do som com os pontos de vale da onda estacionária, como é possível observar na Figura 32.

FIGURA 32 - REPRESENTAÇÃO DA ONDA ESTACIONÁRIA FEITA POR ESTUDANTE.



FONTE: Produzida pela autora.

A relação equivocada entre volume mínimo e vale da onda estacionária acarretou erro na determinação do comprimento de onda e da velocidade do som. Nesse ponto, a atividade proposta não cumpriu o segundo objetivo proposto por Delizoicov e Angotti (1991), para aula experimental, que consiste em gerar conflitos entre os conceitos incoerentes externados pelos estudantes e os conceitos científicos, visto que eles não corrigiram o erro e seguiram a atividade.

Este ponto foi verificado e mostrou a necessidade da inserção de um tópico sobre representação dos pontos de amplitude máxima e mínima de uma onda, assim como o que cada um deles representa, atribuindo uma maior ênfase na discrepância entre os valores determinados e conhecidos para a velocidade do som no ar.

Inclusive, a parte inserida na atividade foi chamada de 'segundo momento: experimento com tubo de 45cm de comprimento' e traz um apelo visual para a propagação da onda sonora em tubos por meio da utilização de uma adaptação do chamado Tubo de Kundt. Por conta disso, a atividade deixa de ter três momentos e passa a ter quatro momentos, visando atender a essa necessidade percebida na pesquisa piloto. A partir disso, dar-se-ão, a seguir, as descrições de como foi a validação dessa segunda versão da atividade constituída de quatro momento.

## 5.2 Validação da Atividade

Para validar a atividade, foram aplicados os quatro momentos para 23 alunos, em uma

sala de segundo ano do Ensino Médio, na qual o professor pesquisador é o professor regente. Os alunos foram, então, referenciados pelas siglas A01 a A23, preservando assim a identidade do aluno participante. Ademais, para aplicar a atividade, foi utilizado o tempo regular de aula do professor pesquisador regente na turma, sendo que foram utilizadas duas aulas de 50 minutos cada.

Na primeira aula, foram realizados o primeiro e segundo momentos propostos na atividade. No dia seguinte, em uma segunda aula, foram realizados o terceiro e quarto momentos, concluindo assim a realização da atividade.

Além disso, é importante ressaltar que trata-se de uma escola pública da rede estadual, de periferia, de ensino integral no modelo da Escola da Autoria, que tem como base um programa de governo implementado em algumas escolas da rede estadual de Mato Grosso do Sul. Nelas, os alunos cursam as disciplinas comuns de sua série concomitante com disciplinas diversificadas, que buscam atender a demanda externada pelos próprios alunos. Inclusive, esse modelo de escola tem por princípio a formação integral do estudante, fazendo uso de diferentes maneiras de ensino.

Essa informação é importante, pois justifica o anseio dos alunos por atividades diferenciadas como são as aulas experimentais. Afinal, é uma metodologia que vai de encontro ao modelo tradicional passivo e que visa a construção do conhecimento, aplicando-o ao cotidiano do aluno.

### 5.2.1 Primeiro Momento: Questões iniciais

Dos 23 alunos participantes, 3 não estavam presentes no início da aplicação da atividade. Por conta disso, não participaram dos dois primeiros momentos propostos. Dos 20 alunos que responderam às questões iniciais propostas, 5 responderam apenas “*não sei*” para as questões teóricas, descrevendo apenas a relação matemática entre comprimento de tubos sonoros e seus harmônicos e 6 responderam de forma parcial.

Além disso, 9 alunos responderam a estas questões mostrando engajamento com a realização da atividade. Exemplo disso foi a resposta dada pelos alunos A18, A19, A20 e A23 que relacionaram o fenômeno de ressonância com a frequência das ondas afirmando que a ressonância ocorre “*quando as duas ondas têm a mesma frequência*”.

### 5.2.2 Segundo Momento: Experimento com tubo de 115 cm de comprimento

O segundo momento consistia na identificação dos harmônicos no tubo de Kundt. Porém, o tubo de garrafa “pet” utilizado tinha 115 cm de comprimento. Isso permitiu uma grande perda de energia da onda sonora propagada pelo tubo, dificultando assim a visualização da vibração das bolinhas de isopor.

Dos 3 alunos participantes que não estavam presentes nos dois primeiros momentos da atividade, outros 2 alunos que estavam presentes não responderam às questões propostas para esse momento. Além disso, 13 alunos responderam de forma parcial, demonstrando dificuldade em identificar os harmônicos formados no tubo e 5 responderam de forma satisfatória.

Isso nos mostrou que, apesar de a atividade estar com uma estrutura adequada para a aplicação em sala, o tubo utilizado precisava ser revisto e substituído por um tubo de comprimento menor, minimizando as perdas de energia e facilitando a visualização da formação dos harmônicos. Essa dificuldade foi encontrada na resposta de alunos como o A17 que disse: “*Não sei, no lugar onde as bolinhas estão não tinha que ter bolinha vibrando*”, se referindo ao fato de que não estavam claras as regiões de ventre e de nó da onda formada no interior do tubo.

Portanto, para a aplicação definitiva da atividade, foi feita a alteração do tubo de 115 cm pelo tubo de 45 cm e o resultado dela será apresentado com os dados da aplicação da atividade.

### 5.2.3 Terceiro Momento: Experimento com tubo de 40 cm de comprimento.

Dos 23 alunos participantes, 2 tiveram que se ausentar na realização dos terceiro e quarto momentos. Por conta disso, não responderam às questões propostas sobre o tubo de 40 cm e à discussão final. Dos presentes, apenas 3 responderam de forma parcial às questões de cálculo, mostrando o engajamento do grupo e o interesse gerado pela atividade experimental.

Ao contrário do senso comum, o resultado dessa atividade sugere que alguns alunos tiveram mais facilidade com as questões de cálculo do que com as questões teóricas e de interpretação. Isso foi notável, porque 9 alunos responderam apenas às questões de cálculo, se abstendo das teóricas.

Assim, dos 14 alunos que responderam de maneira cientificamente coerente às questões propostas para esse momento da atividade, 4 afirmaram ser possível variar o volume

do som nas regiões do tubo, mudando a frequência da onda e mostrando a compreensão da dependência dos pontos de volume máximo e mínimo do som no tubo com a frequência da onda emitida.

#### 5.2.4 Quarto Momento: Aplicação do conhecimento.

Por fim, dos 23 alunos participantes, além dos dois que tiveram que se ausentar, 7 alunos não responderam à aplicação do conhecimento proposta para esse quarto momento. Ademais, dos 13 alunos que responderam satisfatoriamente, 4 afirmaram ser possível variar o tamanho da laringe para se ter um som com maior volume. São estes, os alunos: A02, A10, A11 e A14.

#### 5.2.5 Conclusão da Validação da Atividade

Com essa análise, foi possível verificar a necessidade de se fazer alguns ajustes finos no roteiro proposto para os alunos e no material fornecido para a execução da atividade. A principal mudança foi a alteração do comprimento do tubo utilizado no segundo momento proposto para essa atividade de 115 cm para 45 cm, buscando uma melhor visualização da vibração das bolinhas de isopor dentro do tubo.

Com esta alteração, possibilitamos uma melhor visualização da vibração das bolinhas de isopor dentro do tubo, melhorando assim a observação e a análise do fenômeno de ressonância por parte dos alunos.

Outra alteração feita, porém menos substancial, foi a aplicação de uma contenção de nylon na extremidade aberta do Tubo de Kund, apenas para que as bolinhas de isopor não caíssem no chão ao serem agitadas dentro do tubo. Essa alteração não interfere na aplicação da atividade, mas apenas facilita o manuseio do aparato. Assim, feitas essas alterações, será descrito agora o resultado da análise feita com os dados coletados na aplicação da atividade.

### **5.3 Aplicação da Atividade: Primeira Turma**

A aplicação da atividade foi realizada em duas turmas. Na primeira turma, a atividade foi realizada em uma escola pública da rede estadual de ensino, de periferia, de ensino integral no modelo da Escola da Aatoria, assim como a escola onde foi feita a validação da atividade.

Porém, diferente da escola onde foi feita a validação, a escola onde foi feita a aplicação da atividade na primeira turma foi inserida recentemente no programa da escola integral e ainda está se apropriando do modelo.

A atividade foi aplicada com 24 alunos, em uma sala de segundo ano do Ensino Médio, na qual o professor pesquisador é o professor regente. Os conteúdos de ondas sonoras e fenômenos ondulatórios já haviam sido ministrados nessa turma nas semanas anteriores a realização da atividade. Os alunos foram referenciados pelas siglas A01 à A24, preservando assim a identidade do aluno participante.

Para aplicar a atividade, utilizou-se o tempo regular de aula do professor pesquisador regente na turma. Foram utilizadas duas aulas de 50 minutos cada. Na primeira aula foram realizados o primeiro e segundo momentos propostos na atividade. No mesmo dia, porém em uma segunda aula, foram realizados o terceiro e quarto momentos, concluindo assim a realização da atividade.

No dia da aplicação da atividade, estava sendo organizada uma ação pedagógica extraclasse com outra turma da escola e isso gerou certa agitação no ambiente escolar, o que deixou a turma um pouco dispersa. A partir desses fatos, serão descritos, agora, a análise dos dados obtidos em cada momento proposto para a atividade.

### 5.3.1 Primeiro Momento: Questões iniciais

Todos os 24 alunos presentes responderam às questões propostas para o primeiro momento da atividade. Desses 12 alunos disseram não saber o que é ressonância.

Os alunos A14, A23 e A24 definiram ressonância como sendo uma “*onda magnética*”, e os alunos A05 e A19 definiram ressonância com base apenas no nome de um exame médico chamado de Ressonância Magnética, como disse o aluno A05 ao afirmar que ressonância “*é um exame onde o paciente é deitado em uma cama que é introduzida dentro de um tubo*”. A resposta destes alunos sugere a ocorrência do obstáculo epistemológico verbal, pois a utilização do nome desse exame para definição do fenômeno de ressonância limita sua real natureza.

Esse fato está em conformidade com pesquisa feita (VILAS BÔAS; SOUZA FILHO, 2018) em que o obstáculo verbal foi identificado como fator limitador para a aprendizagem do conceito de ressonância.

Os alunos A02, A06, A07, A09, A15, A20 e A22 relacionaram a definição de ressonância apenas com tubos sonoros ou tão somente o som. Exemplo disso foi a resposta

dada pelo aluno A09 dizendo que ressonância é definida como sendo os “*tubos de ondas sonoras*”. Acredita-se que essas respostas foram motivadas pela apresentação do tubo utilizado na atividade. Isso sugere a presença do obstáculo epistemológico da experiência primeira.

Em relação a descrição das condições para que o fenômeno de ressonância ocorra, dos 24 alunos participantes, 15 responderam não ter conhecimento. Esta atitude de escrever simplesmente “não sei” como resposta para a questão proposta pode indicar uma tentativa de fuga da demanda trazida para a turma, visto que eles estavam mais engajados em participar da atividade que estava sendo realizada pela outra turma fora da sala de aula.

Os alunos A02 e A05 produziram suas respostas com base no exame de ressonância magnética. Exemplo disso foi a resposta dada por A02 dizendo que a ressonância ocorre “com o contato de algo magnético”. Sugerindo assim a presença do obstáculo epistemológico verbal.

Já os alunos A07, A09, A14, A15, A20, A22 e A23 relacionaram as condições para que a ressonância ocorra somente com a presença do tubo sonoro ou simplesmente com a propagação de som. Exemplo disso é a resposta dada pelo aluno A14 ao afirmar que para que a ressonância ocorra é preciso “*ter um tubo para ele (o som) se propagar*”.

Ao descreverem como o som se propaga dentro do tubo, 15 alunos disseram que o som se propaga “*por conta das partículas*”. Esta resposta está coerente com o conceito científico se pensarmos no som como uma onda mecânica que precisa de um meio físico para se propagar e que a perturbação se propaga pelas partículas do meio. Porém, temos que nos atentar para não reduzirmos o som a uma definição minimalista, sugerindo assim a existência do obstáculo epistemológico substancialista.

Os alunos A11 e A14 responderam que o som se propaga “*pelos harmônicos*”. Os alunos A08, A20 e A22 também utilizaram terminologias da ondulatória para descreverem como o som se propaga no tubo. Exemplo disso foi a resposta dada por A08 ao afirmar que o som se propaga no tubo “*vibrando*”. Essas respostas não são suficientes para descreverem como o som se propaga dentro do tubo, sugerindo assim a presença do obstáculo epistemológico substancialista.

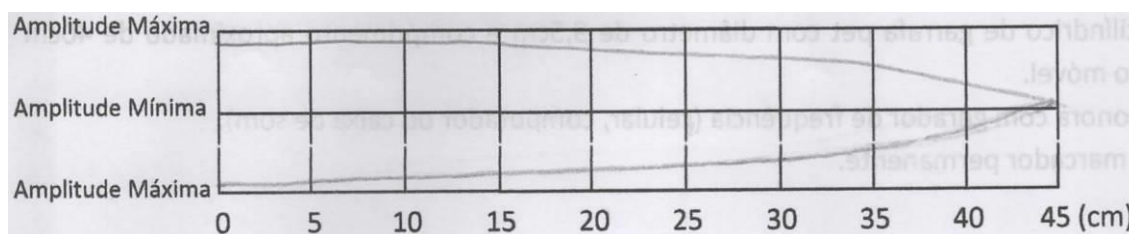
Os alunos A09, A13 e A16 responderam “*não sei*” e o aluno A07 afirmou que “*as moléculas de ar vibram dentro dele (do tubo) através de uma interferência*”. Apesar de a resposta não estar totalmente coerente com o conceito científico, podemos considerar que o aluno A07 reconhece a presença do fenômeno de interferência dentro do tubo, fator necessário para que haja ressonância.

### 5.3.2 Segundo Momento: Experimento com tubo de 45 cm de comprimento.

Nesse segundo momento, dos 24 alunos participantes, 8 alunos responderam apenas parcialmente às questões. Esse fato se deu, pois, no momento em que estavam respondendo a essas questões, o pátio estava muito agitado e atrapalhava o desempenho dos alunos em sala. Inclusive, esses alunos optaram, por iniciativa própria, iniciarem a realização do terceiro momento, sem a conclusão do segundo, por acharem que estavam atrasados em relação aos colegas.

Porém, mesmo com esse fato, 12 dos 16 alunos que responderam a atividade foram capazes de identificar de forma correta o harmônico produzido no tubo de Kundt. Confirmando, assim, a assertividade na alteração feita em relação ao tubo utilizado na validação da atividade. Os alunos A06, A07, A08 e A19, além de identificarem o harmônico produzido, representaram de maneira correta a onda estacionária formada dentro do tubo, como ilustra a Figura.

FIGURA 33 - REPRESENTAÇÃO DA ONDA ESTACIONÁRIA FEITA PELO ALUNO A08 NO SEGUNDO MOMENTO DA ATIVIDADE



FONTE: Elaborada pela autora.

No final desse segundo momento, os alunos deveriam descrever a relação entre o tamanho do tubo e o som produzido, porém, dos 24 participantes, 12 não responderam e 11 responderam “*não sei*”. Nesse momento, os alunos estavam muito agitados por conta do barulho que havia no pátio e pela proximidade do horário de término da primeira aula. Acredita-se, portanto, que isto tenha sido fator determinante para a falta de engajamento na realização do segundo momento proposto pela atividade.

Nesse sentido, apenas o aluno A7 respondeu a essa questão, afirmando que “*as moléculas de ar vibram intensamente quando próximas à fonte sonora*”. Essa resposta nos remete ao obstáculo epistemológico da experiência primeira, pois consiste apenas em uma

descrição visual do fenômeno, não sendo capaz de utilizar o conceito de ressonância para compreender o fenômeno observado. Logo, o apelo visual do fenômeno chama mais atenção do que sua compreensão.

### 5.3.3 Terceiro Momento: Experimento com tubo de 40 cm de comprimento

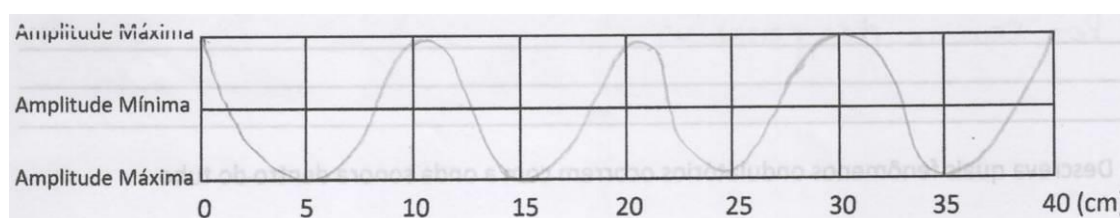
Nesse terceiro momento, todos os 24 alunos responderam às questões propostas. Além disso, eles tiveram facilidade em identificar quais eram os pontos em que o som aumentava ou diminuía de volume, porém, tiveram dificuldade em ilustrar corretamente a onda produzida no tubo e, conseqüentemente, devido a algumas falhas na representação da onda feita por eles, o valor do comprimento de onda não foi determinado de maneira correta por vários deles.

Porém, apesar das falhas nos desenhos, os alunos foram coerentes com os valores de comprimento de onda determinados por eles. Ademais, considerando o valor de comprimento de onda obtido, determinaram de maneira coerente os comprimentos dos tubos para cada harmônico correspondente.

O fato de os alunos apresentarem dificuldade na elaboração do desenho motivou uma intervenção por parte do professor na realização da atividade. Na aula seguinte à aplicação da atividade, foi solicitado aos alunos que observassem novamente o som produzido pelo tubo de 40 cm e refizessem o terceiro momento proposto pela atividade.

Assim, eles tiveram a oportunidade de refletir sobre algumas respostas dadas e refazer a representação da onda formada no tubo. Os alunos A02, A04, A10, A11, A14, A15, A16, A20 e A24 apresentaram desenhos ainda incoerentes com a onda formada no tubo, tais como o feito pelo aluno A24, como é possível observar na Figura 34.

FIGURA 34 - REPRESENTAÇÃO DA ONDA ESTACIONÁRIA FEITA PELO ALUNO A24 NO TERCEIRO MOMENTO DA ATIVIDADE



FONTE: Elaborada pela autora.

No caso da ilustração feita pelo aluno A24, notou-se uma falta de compreensão em relação ao conceito de amplitude máxima e mínima de uma onda. Esse aspecto também foi



encontrado na ilustração feita pelos alunos A02 e A04. Nesse sentido, eles identificaram de forma equivocada a crista da onda como ponto de amplitude máxima e o vale como amplitude mínima. Ademais, esse tipo de resposta foi encontrado de forma mais frequente na pesquisa piloto, porém, com as alterações feitas, nessa primeira aplicação da atividade, apenas esses três alunos apresentaram essa resposta.

Os alunos A01, A03, A05, A06, A07, A08, A09, A12, A13, A17, A18, A19, A21, A22 e A23 ilustraram corretamente a onda produzida no tubo. Porém, os alunos A09 e A13 não conseguiram determinar corretamente o comprimento de onda produzido no tubo, assim como o comprimento do tubo para cada harmônico.

Além disso, ao serem questionados sobre a causa da variação do volume do som dentro do tubo, os alunos A06 e A23 não responderam e os alunos A13, A14 e A16 responderam não saber. Os alunos A10 e A11 deram respostas incoerentes e os alunos A09, A12 e A24 relacionaram a variação do volume apenas com a existência de ar no tubo.

Entretanto, os alunos A02, A04, A08, A15, A19, A20 e A21 relacionaram a variação do volume do som no tubo com a variação da pressão do ar em seu interior. Exemplo disso, é a resposta dada pelo aluno A20 ao afirmar que *“porque a pressão do ar é maior em alguns pontos e menor em outros”*.

Inclusive, os alunos A01, A03, A05, A07, A17, A18 e A22, demonstraram uma compreensão coerente com a científica do fenômeno observado, fazendo uso do fenômeno de interferência para justificar a variação do volume do som no tubo.

Ademais, ao serem questionados sobre quais fenômenos ondulatórios estavam ocorrendo dentro do tubo, os alunos A02, A06, A23 e A24 não responderam, enquanto os alunos A04, A12 e A16 responderam não saber. Já os alunos A09, A10, A11, A13, A14, A15, A20 e A21 disseram de forma equivocada estar ocorrendo dentro do tubo fenômenos tais como difração, polarização e refração, indicando que fizeram apenas uma reprodução dos nomes dos fenômenos trabalhados em sala durante as aulas de ondulatória.

Já os alunos A01, A03, A05, A07, A08, A17, A18, A19 e A22 foram capazes de perceber que um dos principais fenômenos ondulatórios que estavam ocorrendo no tubo era o de interferência construtiva e destrutiva das ondas incididas e refletidas dentro do tubo. Exemplo disso, foi a resposta dada por A22, ao afirmar que dentro do tubo *“ocorrem interferências construtiva e destrutiva”*.

No final do terceiro momento, ao serem questionados sobre situações em que poderiam aplicar os conceitos de ressonância em tubos sonoros, eles tiveram facilidade em

citar materiais e instrumentos tais como flauta, clarinete e até nossa laringe. Porém, tiveram dificuldade em descrever como a ressonância poderia ser utilizada nessas estruturas.

#### 5.3.4 Quarto Momento: Aplicação do conhecimento

Novamente a agitação externa voltou a interferir no andamento da atividade, por conta disso, dos 24 alunos, 5 não responderam à questão proposta para esse quarto momento, 11 alunos declararam não saber como aplicar o conceito de ressonância no funcionamento das pregas vocais, e apenas 8 alunos responderam de maneira coerente com a científica à questão proposta.

#### 5.3.5 Conclusão da aplicação da atividade na primeira turma

Frente a esta análise, podemos afirmar que a aplicação da atividade nesta turma contribuiu para a ampliação do conceito de ressonância em tubos sonoros descrito pelos alunos, porém houve um comprometimento na coleta de dados. Acreditamos que um dos principais motivos para esse comprometimento na coleta de dados seja a falta de engajamento dos alunos na realização da atividade devido à agitação externa.

Fez-se necessária uma nova aplicação desta atividade em outra turma, para obtermos dados mais coerentes com o aprendizado do conceito de ressonância e verificarmos com mais clareza a interferência da atividade na superação dos obstáculos epistemológicos existentes à aprendizagem deste conceito. Esta segunda aplicação foi realizada e descreveremos então os dados obtidos por meio dela.

### **5.4 Aplicação da Atividade: Segunda Turma**

A aplicação da atividade foi realizada nesta segunda turma com 18 alunos em uma sala de terceiro ano do ensino médio na qual o professor pesquisador é o professor regente. Os alunos foram referenciados pelas siglas A01 à A18, preservando assim a identidade do aluno participante. Para aplicar a atividade utilizamos o tempo regular de aula do professor pesquisador regente na turma. Foram utilizadas duas aulas sequenciais de 50 minutos cada.

Trata-se da mesma escola onde foi realizada a pesquisa piloto e a validação da atividade, porém, a turma que participou da pesquisa piloto e a que participou da validação são distintas da turma que participou desta aplicação. Estes alunos já tinham visto o tema de

ondas sonoras, porém fazia alguns meses que este tema havia sido trabalhado. Esta turma tem como características o engajamento e a motivação intrínseca na realização das atividades. Também foi considerada a disponibilidade de horário de aula da turma. Estes fatores contribuíram para a escolha desta turma para a aplicação da atividade.

#### 5.4.1 Primeiro Momento: Questões iniciais

Como forma de retomada, ressaltamos que as questões iniciais foram:

- a) *O que é ressonância?*
- b) *Quais fenômenos ondulatórios são necessários para que a ressonância ocorra?*
- c) *É possível que a ressonância ocorra em tubos sonoros? Por quê?*
- d) *Qual equação relaciona o comprimento de onda com o comprimento de tubos sonoros fechados?*
- e) *Qual equação relaciona a velocidade do som com a frequência e o comprimento da onda?*

Todos os 18 alunos presentes responderam às questões propostas para o primeiro momento da atividade. Somente os alunos A01, A02 e A09 responderam “*não sei*” para a pergunta sobre a definição de ressonância.

O aluno A03 definiu ressonância como sendo “onda”. Esse tipo de resposta reduzida, sem aprofundamento, sugere o obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático. É um caso onde acredita-se que tudo que descreve o geral pode descrever o específico. Sabemos que de fato ressonância é formada por ondas, mas o conceito de onda não define o fenômeno de ressonância.

Os alunos A06 e A07 se referiram de maneira equivocada ao fenômeno de ressonância como sendo a definição de um exame médico. Essa resposta sugere a existência de um obstáculo epistemológico verbal, também verificado na aplicação com a primeira turma.

Os alunos A08, A10 e A13 relacionaram ressonância apenas com a produção do som da voz. Exemplo disso é a resposta dada por A13 ao afirmar que “*o som que emitimos ‘a voz’ é a ressonância*”. Essa resposta sugere a existência do obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático, uma vez que, por mais que a voz possa ter relação com o fenômeno de ressonância, o fenômeno de ressonância não pode ser definido somente pela produção da voz.

Os alunos A11, A12 e A14 relacionaram a definição do fenômeno de ressonância com a ampliação do som. Exemplo disso foi a resposta dada por A12 ao afirmar que ressonância “*é um amplificador do som*”. Essa resposta sugere o obstáculo epistemológico da experiência primeira, uma vez que o efeito de aumento na intensidade do som é algo presente no fenômeno de ressonância, e chama a atenção dos estudantes, que não se atentam para o fato de que a ressonância não se limita apenas a amplificação do som.

Os alunos A04, A05, A15, A16, A17 e A18 fizeram uso de terminologias da ondulatória para definirem o fenômeno de ressonância, como fez o aluno A15, dizendo que ressonância “*é uma interferência ondulatória construtiva onde 2 ondas se chocam com um número múltiplo da onda*”, e A16 ao afirmar que ressonância “*é uma interferência construtiva, onde a amplitude das ondas se somam em frequência*”. Essas respostas, apesar de conterem equívocos em sua escrita, mostra a tentativa dos alunos de relacionar de maneira correta o fenômeno de ressonância com a interferência construtiva entre ondas de frequências iguais ou múltiplas.

Não foi identificado nas respostas deste grupo de alunos um obstáculo epistemológico específico que se enquadre nas características descritas por Bachelard na definição de seus tipos de obstáculos epistemológicos.

Ao serem questionados sobre quais fenômenos ondulatórios são necessários para que o fenômeno de ressonância ocorra, os alunos A01, A02, A05, A07, A08, A12, A15 e A16 responderam “*não sei*”. Os alunos A03, A04, A06 e A13 utilizaram palavras desconectadas de contexto em suas respostas. Os alunos A03 e A06 escreveram apenas a palavra “*construtiva*”, o aluno A04 escreveu “*frequência das ondas*”, e o aluno A13 escreveu “*sistema fonador, tubos sonoros*”. Estas respostas sugerem o obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático, visto que fizeram uso de uma parte do conceito para descrever o todo.

Os alunos A09, A10, A11 e A14 relacionaram os fenômenos necessários para ressonância apenas com a produção da voz. Exemplo disso são as respostas dadas pelos alunos A10, ao afirmar que “*se separarmos as pregas vocais elas abrem e o ar é expulso*”; e A11, relatando que “*como no caso das pregas vocais, o ar tem que ser comprimido pelo diafragma empurrando o ar para as pregas vibrando e gerando som*”.

Essas respostas não possuem relação direta com os fenômenos necessários para que haja ressonância, mas possuem relação com o texto introdutório disponibilizado no roteiro. Desta forma, acreditamos que essa resposta sugere a presença do obstáculo epistemológico da experiência primeira, em que a leitura do texto influenciou a resposta dos alunos inibindo o pensamento mais reflexivo sobre a questão proposta.

Somente os alunos A17 e A18 relataram de forma adequada que para que haja ressonância “*é necessário que ocorra uma interferência*” (A18). Porém, eles não citaram o fato de que essa interferência deve ser construtiva. Essa resposta dá indícios da presença do obstáculo epistemológico da generalização, em que um conhecimento aparentemente geral, é na verdade superficial.

Ao serem questionados se é possível que a ressonância ocorra em tubos sonoros, 11 alunos responderam “não sei”. O aluno A16 respondeu apenas “*sim*”, sem justificar sua resposta como solicitado no roteiro, isso nos dá indícios de um obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático.

Os alunos A05, A12, A13 e A14 descreveram ser possível a ocorrência de ressonância no tubo sonoro e ressaltaram a importância de sua estrutura para que ela ocorra. Exemplo disso foi a resposta dada pelo aluno A12 ao afirmar que “*sim, pois influencia se for algo aberto ou fechado*” e por A05, dizendo que “*é possível pois a ressonância não se espalha e segue uma ordem no tubo*”.

Estas respostas têm incoerências com o conceito científico, pois sabemos, por exemplo, que ressonância não se espalha, é a energia que se propaga. Mas, apesar disso, mostram a percepção dos alunos de que a estrutura do tubo interfere na formação do fenômeno de ressonância. Esta resposta sugere o obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático, visto que trata-se de um conhecimento que não define o conceito em sua completude.

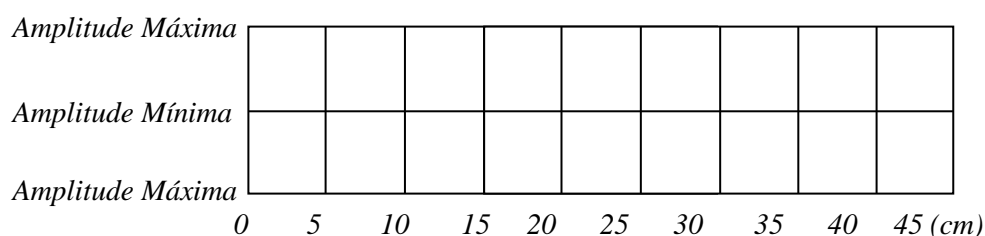
Os alunos A17 e A18 foram capazes de descrever o que torna possível o fenômeno de ressonância em tubos sonoros. O aluno A17 respondeu “*sim, devido ao retorno das ondas que se reflete na extremidade fechada, retornando ao instrumento que emite o som*”. Já o aluno A18 respondeu que “*sim, porque a onda refletida tem a mesma frequência da onda emitida*”. Desta forma não identificamos um obstáculo epistemológico que se adequasse aos tipos descritos por Bachelard.

Todos eles descreveram corretamente as relações utilizadas na determinação dos valores de comprimento de tubos sonoros fechados e de velocidade do som.

#### 5.4.2 Segundo Momento: Experimento com tubo de 45 cm de comprimento

Vale ressaltar que no roteiro fornecido ao aluno, os itens de *a* à *d* desse segundo momento davam instruções sobre a montagem do equipamento e os itens seguintes continham questões sobre o tubo, sendo elas:

- e) Identifique quais pontos possuem maior vibração das bolinhas de isopor.
- f) Identifique quais pontos possuem menor vibração das bolinhas de isopor.
- g) Determine o comprimento  $\lambda$  da onda sonora que se propaga dentro do tubo, sabendo que a velocidade  $v$  do som no ar é aproximadamente 330 m/s e a frequência  $f$  da onda produzida é de 183Hz. Para isso, você pode utilizar a relação  $v = \lambda \cdot f$ .
- h) Identifique o harmônico  $n$  produzido no tubo sabendo que o comprimento do tubo é 45cm. Para isso, você pode utilizar a relação  $L = n \cdot \lambda/4$ .
- i) Faça uma representação da onda produzida no tubo, com base no exemplo dado na Figura 3.

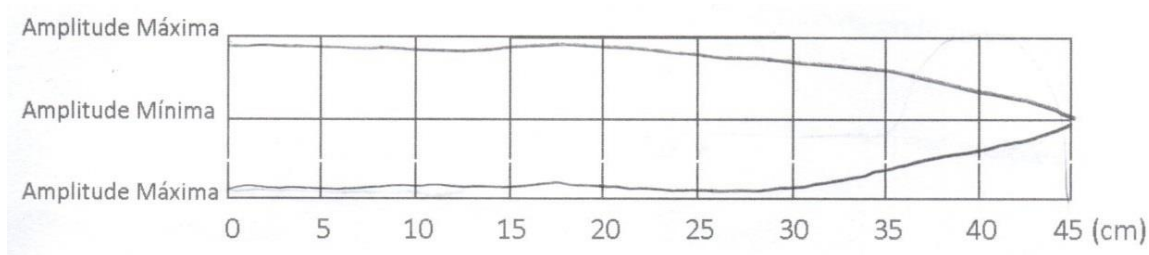


- j) Compare a representação da onda feita acima com os pontos de máxima e mínima vibração das bolinhas de isopor observados dentro do tubo. A ilustração feita está de acordo com o movimento das bolinhas de isopor observado dentro do tubo? Por quê?

Nesse segundo momento, todos os 18 participantes estavam bem engajados na realização da atividade e todos identificaram corretamente os pontos de máxima e mínima vibração das bolinhas de isopor dentro do tubo, além de determinarem o comprimento da onda formada no tubo.

Na identificação do harmônico formado, quase todos os alunos tiveram êxito. Somente os alunos A01 e A04 se equivocaram nos cálculos ao determinar o harmônico. A representação da onda estacionária formada no tubo também foi feita corretamente por todos os alunos. As ilustrações feitas foram todas equivalentes a apresentada pelo aluno A01, como representado na Figura 35:

FIGURA 35 - REPRESENTAÇÃO DA ONDA ESTACIONÁRIA FEITA PELO ALUNO A01 NO SEGUNDO MOMENTO DA ATIVIDADE



FONTE: Elaborada pela autora.

Para finalizar esse segundo momento, os alunos tiveram um pouco de dificuldade para estabelecer uma relação entre a representação feita da onda e a observação do movimento das bolinhas de isopor no tubo. O aluno A02 não explicou por que acreditava que a ilustração feita da onda formada no tubo estava de acordo com o movimento observado das bolinhas de isopor em seu interior. O Aluno A09 respondeu equivocadamente que “*sim, pois onde está fechado tem uma amplitude maior*”. Esta resposta não condiz com a observação feita do tubo. Nestes dois casos não foi possível identificar qual obstáculo epistemológico interferiu na aprendizagem.

Os alunos A03, A06, A07, A08 e A10 deram respostas inconclusiva na hora de justificar porquê acreditavam que a ilustração da onda estava de acordo com a onda observada no tubo. Exemplo disso é a resposta dada por A08 e A10 ao afirmarem que “*sim, momento de fenômeno*”. Outro exemplo é a resposta dada pelos alunos A03, A06 e A07 que afirmaram que “*sim, pois não é possível que um corpo fique no mesmo espaço que outro corpo, acontece o movimento dos corpos*”.

Esse tipo de resposta sugere a presença do obstáculo epistemológico da experiência primeira, visto que os alunos ficaram atentos somente ao apelo visual do experimento, sem buscar uma compreensão efetiva do fenômeno analisado.

Os alunos A11 e A17 também deram respostas que sugerem a presença do obstáculo epistemológico da experiência primeira ao declararem que “*sim, porque a força da onda vai enfraquecendo*” (A11) e “*sim, as bolinhas estavam tentando escapar pela extremidade aberta*” (A17). Eles se limitaram à descrição da observação, mas diferente do grupo anterior, eles descreveram com mais clareza suas observações.

Os alunos A01, A04 e A16 externaram respostas que justificaram a equivalência da representação da onda com a onda observada dizendo que ambas se referem a ondas sonoras. Exemplo disso é a resposta dada por A01 ao afirmar que “*sim, pois é um movimento de onda*

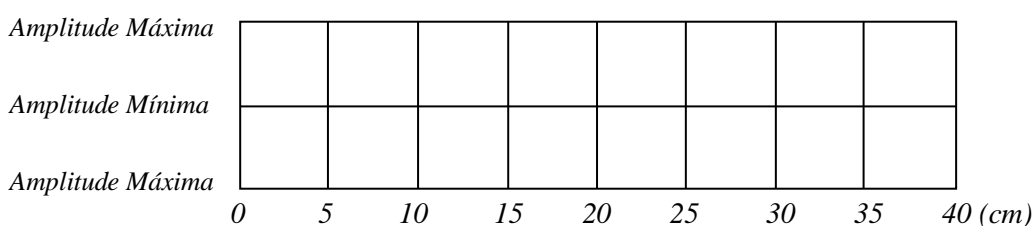
*sonora*”. Esse tipo de resposta está mais próxima que as anteriores do conceito científico, mas ainda sugere a presença de obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático.

Por fim, os alunos A05, A12, A13, A14, A15 e A18 relacionaram a amplitude da onda com o movimento das bolinhas de isopor. Exemplo disso foi a resposta dada por A13 ao afirmar que “*sim, as bolinhas ficaram mais concentradas na extremidade aberta e poucas bolinhas se acumularam na extremidade fechada*”. Esse tipo de resposta não sugere a presença de obstáculos epistemológicos.

#### 5.4.3 Terceiro Momento: Experimento com tubo de 40 cm de comprimento

Resaltamos que, neste terceiro momento, os itens de *a* à *d* davam orientações sobre a montagem do dispositivo, e os itens seguintes foram compostos por questões propostas aos alunos sobre o tubo, as quais foram as seguintes:

*e) Faça uma representação da onda produzida no tubo, com base no exemplo dado na Figura 3.*



*f) Com base na representação feita, determine o comprimento da onda produzida no tubo.*

Agora, utilizando a relação: 
$$L = \frac{n \cdot \lambda}{4}$$

*g) Determine o comprimento do tubo quando o primeiro harmônico da onda sonora é produzido.*

*h) Determine o comprimento do tubo quando o segundo harmônico da onda sonora é produzido.*

*i) Determine o comprimento do tubo quando o terceiro harmônico da onda sonora é produzido.*

*j) Determine o comprimento do tubo quando o quarto harmônico da onda sonora é produzido.*

*k) Descreva o que ocorre com o volume do som quando o êmbolo está nas posições determinadas acima.*



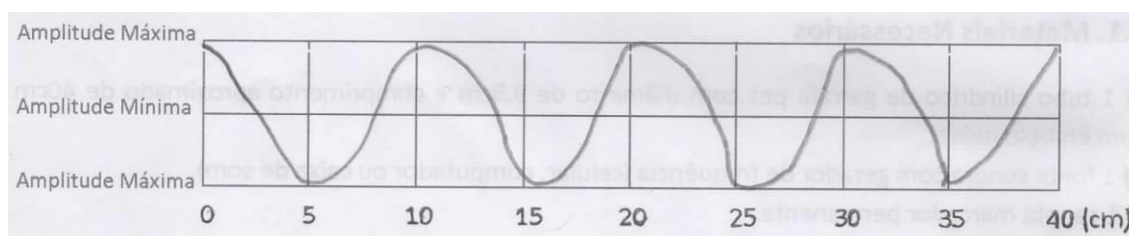
Os alunos tiveram facilidade em identificar quais eram os pontos em que o som aumentava ou diminuía de volume, porém, os alunos A01, A04 e A12 não representaram corretamente a onda formada no tubo. Apesar disso, A01 e A12 conseguiram determinar corretamente o comprimento do tubo nos quatro primeiros harmônicos e relacionaram os valores encontrados com os pontos de volume máximo e mínimo dentro do tubo.

O aluno A07, apesar de ter feito corretamente a representação da onda produzida, não determinou corretamente os valores de comprimento de onda e comprimento do tubo, solicitados na atividade.

As respostas dadas pelos alunos A01, A04, A07 e A12 sugerem a presença do obstáculo epistemológico da experiência primeira, visto que eles ainda se limitam a descrevem o observado, sem uma interpretação crítica do fenômeno analisado.

Já os alunos A02 A10 apresentaram uma falta de compreensão do conceito de amplitude, ao representarem volume máximo e mínimo pela crista e vale da onda. Exemplo disso foi a representação feita por A02 ilustrada na Figura 36.

FIGURA 36 - REPRESENTAÇÃO DA ONDA ESTACIONÁRIA FEITA PELO ALUNO A02 NO TERCEIRO MOMENTO DA ATIVIDADE



FONTE: Elaborada pela autora.

Apesar disso, esses alunos determinaram corretamente o comprimento da onda produzida e o comprimento do tubo referente aos primeiros harmônicos. Eles também foram capazes de relacionar os valores encontrados com os pontos de volume máximo e mínimo no tubo.

A resposta dada por estes dois alunos sugere a presença do obstáculo epistemológico quantitativo, em se há uma preocupação exacerbada em se calcular, sem uma reflexão sobre o que se está calculando.

Os outros alunos, A03, A05, A06, A08, A09, A11, A13, A14, A15, A16, A17 e A18, obtiveram êxito na representação da onda produzida e determinaram corretamente os valores

de comprimento de onda e comprimento do tubo para os primeiros harmônicos. Eles também foram capazes de relacionar os valores determinados de comprimento do tubo com os pontos de volume máximo e mínimo do som no tubo. Para este grupo de respostas não foi identificado um obstáculo epistemológico como os descritos por Bachelard.

Em relação à discussão proposta sobre o tubo de 40 cm, vale ressaltar que as questões feitas foram:

- a) Explique porque existem pontos dentro do tubo onde o volume do som é máximo e pontos onde o volume do som é mínimo.*
- b) Descreva quais fenômenos ondulatórios ocorrem com a onda sonora dentro do tubo.*
- c) Cite pelo menos três situações onde poderíamos utilizar estes conceitos de tubos sonoros.*
- d) Como poderíamos aumentar o volume do som produzido nas três situações citadas acima, utilizando o conceito de ressonância?*

Ao fazerem as discussões propostas pela atividade para o tubo de 40 cm, os alunos A02 e A07 responderam apenas que não sabiam por que existiam pontos de volume máximo e mínimo no tubo. O restante dos alunos relacionou a alteração do volume do som com a variação de amplitude da onda.

Ao serem solicitados para que descrevessem quais fenômenos ondulatórios ocorriam com a onda dentro do tubo, o aluno A05 não respondeu a essa questão. Os alunos A02, A06, A07, A08, A09, A10, A13 e A14 responderam utilizando apenas as palavras ondulação e oscilação. Essa resposta sugere a presença do obstáculo epistemológico da experiência primeira para a aprendizagem do conceito de ressonância, visto que os alunos se limitaram a fazer apenas uma descrição visual do fenômeno, sem, contudo se apropriarem dos conceitos envolvidos.

Os alunos A01, A03, A04, A11, A12, A15, A16 e A18 responderam a essa pergunta com citando os fenômenos de interferência e reflexão, fenômenos estes que de fato estão presentes no tubo sonoro e o aluno A17 ainda citou a ressonância como fenômeno presente no tubo. Podemos ver que estes alunos, já no terceiro momento da atividade, conseguiram estabelecer uma relação entre teoria e prática se apropriando de terminologias utilizadas na ondulatória para descreverem o fenômeno no tubo.

Ao serem solicitados que citassem situações onde poderiam utilizar conceitos de tubos sonoros, os alunos A01 e A05 não responderam e os alunos A04 e A07 responderam

“*não sei*”. Os alunos A06, A08, A12, A14, A15 e A17 citaram instrumentos musicais como flauta, clarinete, trompete, trombone, saxofone, entre outros, e os alunos A02, A03, A09, A10, A11, A13, A16 e A18, além de instrumentos musicais, também citaram a laringe como exemplo de tubo sonoro. Essa resposta já é efeito da contextualização proposta pela atividade para a utilização do fenômeno de ressonância em tubos sonoros em diferentes situações.

Os alunos demonstraram dificuldade para responder à última questão proposta em que deveriam dizer como o conceito de ressonância poderia ser utilizado para aumentar o volume do som em tubos sonoros. Os alunos A01, A05 e A08 não responderam. Os alunos A07, A10, A15, A16 e A17 responderam “*não sei*”.

Os alunos A03, A09, A13 e A18 disseram que a maneira de utilizar o fenômeno de ressonância para aumentar o volume do som produzido seria “*aumentando a frequência*”. Essa resposta evidencia um erro conceitual em que se relaciona de maneira equivocada o aumento do volume de um som com o aumento de sua frequência. Isso sugere, portanto, a existência do obstáculo epistemológico verbal, visto que é muito comum, no cotidiano, referir-se a sons com altas e baixas frequências, como sendo sons altos e baixos, respectivamente.

Os alunos A02, A04, A06, A11, A12 e A14 citaram situações em que o fenômeno de ressonância poderia ser observado e propuseram meios de amplificação do som produzido nessas situações, porém, sem fazerem uso direto do fenômeno de ressonância, como havia sido solicitado na atividade. Essas respostas não sugeriram a presença de obstáculos epistemológicos.

#### 5.4.4 Quarto Momento: Aplicação do conhecimento

Relembramos que a questão feita neste momento foi: “*Nossa laringe tem o formato de um tubo por onde se propaga o som produzido com a vibração das pregas vocais. Como poderíamos utilizar o conceito de tubos sonoros para aumentar o volume do som produzido em nossa laringe?*”.

Os alunos A01, A05, A11 e A14 não responderam à questão proposta para esse momento. Os alunos A03, A07, A09, A10, A13 e A15 responderam a esse momento, dando ênfase ao aumento da potência da voz. Exemplo disso foi a resposta dada pelo aluno A13 ao afirmar que para aumentar o volume da voz deve-se “*aumentar a potência e a força das vibrações*”. Essa resposta, portanto, não utiliza de maneira direta o conceito de ressonância para amplificação do som produzido pela voz.

Outro ponto a ser destacado é a resposta dada pelo aluno A07 ao afirmar que se pode aumentar o volume da voz “*aumentando a frequência*” do som produzido. Essa resposta sugere a permanência do obstáculo epistemológico verbal, devido ao uso dos termos alto e baixo para se referir à frequência de sons agudos e graves.

Já os alunos A02, A04, A06, A08, A12, A16, A17 e A18 tiveram êxito na resolução da atividade, afirmando que seria possível aumentar o volume do som produzido pela voz ajustando o comprimento do tubo formado pela laringe e por suas estruturas. Exemplo disso foi a resposta dada pelo aluno A06 ao afirmar que é possível variar o volume do som produzido pela voz “*aumentando e diminuindo o músculo da laringe*”.

#### 5.4.5 Conclusão da aplicação da atividade na segunda turma

Nessa segunda aplicação, foi possível identificar a atenuação dos obstáculos epistemológicos existentes para a aprendizagem do conceito de ressonância. A análise dos resultados obtidos, com a aplicação da atividade na segunda turma, indica que sua realização contribuiu para uma aproximação do conceito de ressonância em tubos sonoros descrito pelos alunos com o conceito científico e para a atenuação dos obstáculos epistemológicos que dificultavam a aprendizagem do conceito de ressonância.

Assim, a Tabela 3 apresenta um resumo dos obstáculos epistemológicos encontrados nas respostas dadas por cada aluno da segunda turma na aplicação da atividade. Com essa tabela, portanto, é possível ter uma compreensão mais ampla de quais obstáculos a atividade ajudou os alunos a superar, a fim de garantir uma melhor compreensão do fenômeno de ressonância.

Para uma melhor apresentação da tabela, algumas siglas foram utilizadas. As questões propostas no primeiro momento da atividade, denominado “Questões Iniciais”, foram referenciadas pelas siglas M1.a), M1.b) e M1.c). As questões propostas no segundo momento, denominado “Experimento com tubo de 45 cm de comprimento”, foram referenciadas pela sigla M2.

As questões propostas no terceiro momento, denominado “Experimento com tubo de 40 cm de comprimento”, foram divididas em dois grupos: Procedimento e Discussão. As questões propostas no procedimento foram referenciadas pela sigla M3.P, e as questões propostas na discussão do terceiro momento foram referenciadas pelas siglas M3.D.a), M3.D.b), M3.D.c) e M3.D.d).

A questão proposta no quarto momento da atividade, denominado “Aplicação do Conhecimento”, foi referenciada pela sigla M4. Além disso, os obstáculos epistemológicos identificados nas respostas dos alunos também foram referenciados por siglas. São elas: CUP – Conhecimento Unitário e Pragmático, V – Verbal, ExP – Experiência Primeira, GE – Generalização, e Q – Quantitativo.

Por fim, para aqueles alunos que não responderam à questão proposta, utilizamos a sigla NR, para os alunos que responderam “não sei” utilizamos a sigla NS e para aqueles alunos que emitiram respostas que não evidenciaram a presença de um obstáculo epistemológico, utilizamos o símbolo traço (-).

TABELA 3 - TABELA DE OCORRÊNCIA DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NA SEGUNDA TURMA.

		OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS IDENTIFICADOS									
		M1.a)	M1.b)	M1.c)	M2	M3.P	M3.D.a)	M3.D.b)	M3.D.c)	M3.D.d)	M4
ALUNOS	A01	NS	NS	NS	CUP	ExP	-	-	NR	NR	NR
	A02	NS	NS	NS	NS	Q	NS	ExP	-	-	-
	A03	CUP	CUP	NS	ExP	-	-	-	-	V	-
	A04	-	CUP	NS	CUP	ExP	-	-	NS	-	-
	A05	-	NR	CUP	-	-	-	NR	NR	NR	NR
	A06	V	CUP	NS	ExP	-	-	ExP	-	-	-
	A07	V	NS	NS	ExP	ExP	NS	ExP	NS	NS	V
	A08	CUP	NS	NS	ExP	-	-	ExP	-	NR	-
	A09	NS	ExP	NS	NS	-	-	ExP	-	V	-
	A10	CUP	ExP	NS	ExP	Q	-	ExP	-	NS	-
	A11	ExP	ExP	NS	ExP	-	-	-	-	-	NR

	<b>A12</b>	ExP	NS	CUP	–	ExP	–	–	–	–	–
	<b>A13</b>	CUP	CUP	CUP	–	–	–	ExP	–	V	–
	<b>A14</b>	ExP	ExP	CUP	–	–	–	ExP	–	–	NR
	<b>A15</b>	–	NS	NS	–	–	–	–	–	NS	–
	<b>A16</b>	–	NR	CUP	CUP	–	–	–	–	NS	–
	<b>A17</b>	–	GE	–	ExP	–	–	–	–	NS	–
	<b>A18</b>	–	GE	–	–	–	–	–	–	V	–

Frente a essa análise, pode-se afirmar que a aplicação da atividade, nessa segunda turma, foi capaz de fazer com que o aluno observasse o fenômeno demonstrado e buscasse compreender o que estava ocorrendo no tubo, não apenas se limitando a descrever o que foi visualizado ou ouvido, como sugere o obstáculo da experiência primeira.

Além disso, a atividade também foi útil para fazer com que os alunos, com exceção apenas de A07, apropriassem-se de novos termos relacionados à ressonância e ampliassem seus conhecimentos sobre esse conceito, superando o obstáculo epistemológico verbal. Outros obstáculos epistemológicos identificados no início da atividade, tais como o do conhecimento unitário e pragmático, da generalização e o quantitativo não foram identificados ao término da atividade, sugerindo uma atenuação dos obstáculos epistemológicos existentes para a aprendizagem do conceito de ressonância.

## CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, pretendeu-se responder à seguinte questão de investigação: como a realização de atividade experimental com materiais alternativos de baixo custo pode contribuir para a superação de obstáculos epistemológicos na aprendizagem de conceitos científicos, tal como o de ressonância?

Nesse sentido, para responder à questão de investigação, foi elaborada e testada uma atividade constituída por quatro momentos. Além disso, ela foi orientada por um roteiro estruturado, para que pudesse ser aplicada em salas de aula de Ensino Médio. O conteúdo escolhido foi o de ressonância em tubos sonoros e o público para o qual a atividade foi proposta era formado por alunos de Ensino Médio de escolas públicas.

Para a elaboração da atividade, foi realizada uma pesquisa que constatou a presença de obstáculos epistemológicos para a aprendizagem do conceito de ressonância (VILAS BÔAS; SOUZA FILHO, 2018). Após essa pesquisa, foi elaborada uma versão inicial da atividade que continha apenas três momentos e que foi testada com 3 alunos voluntários em uma pesquisa piloto (VILAS BÔAS; SOUZA FILHO, 2019). Nesta pesquisa piloto sentiu-se a necessidade da inserção de mais um momento na atividade, que passou a ser composta por quatro momentos.

Essa versão da atividade, composta por quatro momentos, foi aplicada em uma turma de Ensino Médio para que se fizesse a validação da atividade. Após essa aplicação, alguns ajustes finos no roteiro e no material foram feitos, mantendo-se a estrutura já elaborada. Com os resultados da validação da atividade, foram feitas duas aplicações em duas turmas distintas de Ensino Médio.

A primeira foi realizada com 24 alunos e não gerou dados que possibilitassem uma análise mais aprofundada. No dia da aplicação da atividade na primeira turma, a unidade escolar estava realizando uma atividade lúdica no pátio da escola com um grupo de alunos, que fizeram uso de fantasias e aparelho de som. Os ruídos e a grande movimentação de alunos no pátio da escola fez com que os alunos da primeira turma ficassem dispersos e pouco engajados na realização da atividade.

O fato de os alunos estarem dispersos comprometeu a qualidade dos dados coletados na primeira turma, se fazendo necessária a aplicação em uma segunda turma. Essa segunda turma era composta por 18 alunos, que no momento da realização da atividade estavam em ambiente tranquilo, sem distrações ou ruídos, engajados na demanda proposta.

Essa segunda aplicação gerou dados passíveis de análise. As questões propostas no roteiro levaram os alunos a refletirem sobre a definição dada por eles para o fenômeno de ressonância, de modo que não se limitaram a definirem esse conceito apenas por um exame médico ou com a expressão ‘ressonância magnética’. Logo, os alunos foram capazes de perceber que o conceito de ressonância não se limita apenas ao magnetismo e isso fez com que os alunos, com exceção de A07, superassem o obstáculo epistemológico verbal existente.

A atividade também levou os alunos a atenuarem a presença do obstáculo epistemológico da experiência primeira, ao propor discussões sobre o fenômeno observado. Este obstáculo impede que os alunos vençam a barreira do encantamento do primeiro contato com o que se quer conceituar, se limitando apenas na descrição de fatos, sem que haja compreensão do conceito.

As questões feitas sobre os tubos fizeram com que os alunos fossem além da descrição de fatos ou impressões, e utilizassem conceitos da ondulatória para justificarem as impressões observadas nos tubos. Exemplo disso é a resposta dada por A06 ao afirmar que é possível variar o volume do som produzido pela voz *“aumentando e diminuindo o músculo da laringe”*.

Essa resposta dá indícios de que com a realização da atividade, o aluno foi ampliando sua definição do que vem a ser ressonância, relacionando a variação do comprimento do tubo e a variação do som percebido com a possibilidade de se ajustar o comprimento da laringe de tal modo a amplificar o som produzido pelas pregas vocais.

Além disso, os alunos eram orientados a não só descreverem o que viam, mas a estabelecerem relações entre teoria e situações do cotidiano, como a produção da voz. Fato este que fez com que os alunos utilizassem os conceitos de ressonância, interferência, entre outros, para descreverem a compreensão que tinham sobre ondas sonoras em tubos.

Deve-se ressaltar também que os obstáculos epistemológicos quantitativo, de generalização e de conhecimento unitário e pragmático foram atenuados com a realização da atividade, à medida que as questões propostas foram sendo respondidas, pois essas questões direcionaram o olhar dos alunos para uma compreensão mais ampla do conceito de ressonância, fazendo com que eles fossem além da emissão de respostas superficiais e genéricas, sendo capazes de responder de maneira mais específica o que se pedia.

É fato que, atividade experimental, se mal planejada, pode servir de obstáculo epistemológico da experiência primeira para alunos que, frente ao encantamento do fenômeno e do apelo visual, se limitam apenas a contemplar o efeito, sem compreender suas causas e estabelecer relações entre o fenômeno observado e outros fenômenos vistos no cotidiano.



Porém as questões de discussão propostas na atividade auxiliaram os alunos na transposição dessa possível barreira ao conhecimento.

A análise das respostas dadas pelos alunos mostrou que a atividade proposta contribuiu para a superação dos obstáculos epistemológicos apresentados pelos alunos para a aprendizagem do conceito de ressonância e que ela serviu como apoio para a compreensão desse conceito por parte dos alunos. Pode-se afirmar que a atividade foi capaz de auxiliar os alunos na compreensão do conceito de ressonância e na atenuação dos obstáculos epistemológicos identificados.

Um próximo passo a ser realizado em pesquisas posteriores seria elaboração de perfis epistemológicos, elaborados pelos alunos, sobre a concepção que cada um deles tem sobre o conceito de ressonância. Logo, ficam aqui nossas aspirações futuras.

## Referências Bibliográficas

APARÍCIO, A. *Produção e Transmissão do Som*. Disponível em: <<https://cfq8.wordpress.com/category/8%c2%ba-ano/som-e-luz/producao-e-transmicao-de-som/>>. Acessado em 13 de agosto de 2019. 2010.

BACHELARD, G. *A filosofia do não; O novo espírito científico; A poética do espaço*. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

\_\_\_\_\_. *O racionalismo aplicado*. Rio de Janeiro: Zahar, 1986.

\_\_\_\_\_. *A poética do devaneio*. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

\_\_\_\_\_. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Editora, 1994.

BORGES, A. T. *Novos rumos para o laboratório escolar de ciências*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.

BORGES, A. T.; RODRIGUES, B. A. *O Ensino da Física do Som Baseado em Investigações*. En publicacion: Ensaio: Pesquisa em educação em ciências, vol. 7, no. 2. FaE, Faculdade de Educação, UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil: Brasil. dezembro. 2005.

BRASIL. *Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica – Semtec*. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. *Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica*. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF. MEC. 2018.

CANÇADO, I. P. et al. *Desenvolvendo a abstração para aulas de vibrações e ondas*. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física XVII SNEF, 2007. São Luiz, MA. Atas do XVII SNEF. São Luiz, MA. 2007.

CARVALHO, L. F. L. *Teoria sobre Ondas*. Disponível em: <<http://tubodekundt2017.blogspot.com/>>. Acessado em: 15 de agosto de 2019. 2017.

CASTRO, D. S. *Tecnologia & Arte*. Disponível em: <<http://culturadigital.br/dacio/>>. Acessado em: 07 de novembro de 2019. 2015.

CAVA, F. Física Moderna - “*Interferência e Difração de Luz*”. Disponível em: <<https://alemdainercia.wordpress.com/2016/02/16/fisica-moderna-interferencia-e-difracao-de-luz/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2019. 2016.

CAVALCANTE, A. A.; MOREIRA, M. M. P. C.; SALES, G. L.. *Uma proposta de objeto digital de aprendizagem para o ensino de ondas sonoras*. Research, Society and Development. Vol.8(6). 2019.

CAVALCANTE, M., RODRIGUES, C. E. M., PONTES, L. A. *Novas Tecnologias no Estudo de ondas sonoras*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física 30: 579-613, 2013.

CENA, C. *Representação gráfica do número de harmônicos formados na corda*. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Representacao-grafica-do-numero-de-harmonicos-formados-na-corda-Uma-vez\\_fig2\\_318726524](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Representacao-grafica-do-numero-de-harmonicos-formados-na-corda-Uma-vez_fig2_318726524)>. Acessado em 15 de agosto de 2019. 2017.

CORREIA, D.; BOLFE, M. A.; SAUERWEIN, I. P. S.. *O estudo das ondas sonoras por meio de uma atividade didática envolvendo leitura de um texto de divulgação científica*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Vol.33(2), pp.556-578. 2016.

COSTA, H. SILVA, M. *Voz Cantada – Evolução, Avaliação e Terapia*. São Paulo/SP: Editora LOVESE, 1998.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. *Física*. São Paulo/BRA: Cortez, (Coleção Magistério 2º Grau). 1991.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez, 2002.

DEMO, P. *Metodologia do conhecimento científico*. São Paulo: Atlas, 2000.

DIOGO, R. C. *A Aprendizagem de Ondas Sonoras Sob a ótica de desafios em um ambiente virtual potencialmente significativo*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Centro de Ciências Humanas e Sociais. Campo Grande-MS, 2008.

DONOSO, J. P.; TANNÚS, A.; GUIMARÃES, F.; FREITAS, T. C. *A física do violino*. Rev. Bras. Ensino Fís. vol.30 no.2. São Paulo. 2008.

DRIVER, R. and al. *Making Sense of Secondary Science: Research into Children’s Ideas*, Routledge, London, UK. 1994.

ERROBIDART, H. A. et al. *Ouvido mecânico: um dispositivo experimental para o estudo da propagação e transmissão de uma onda sonora*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, Março 2014.

FÉLIX, S. *Saúde e Higiene Vocal*. Disponível em: <<http://www.salamedica.com.br/imagens/laring01a.ipj>> Acesso em: 23 de junho de 2019.

GAGLIARDI, M., GIORDANO, E., ONIDA M., RECCHI M., ROSSI S. “Visible” waves: In a web site a teaching pathway from everyday knowledge toward the scientific knowledge. Physics Dept of Bologna University. Faculty of Education of Milano-Bicocca University, Piazza Ateneo Nuovo 1, 20126 Milano, Italy. Disponível em: <http://www.fisica.ucr.ac.cr/varios/ponencias/4ondas%20visibles.pdf> Acessado em 23 de junho de 2019. 2008.

GOBARA, S. T. NASCIMENTO, C. S. *Uma introdução para o ensino de ondas sonoras*. In: Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física - XVII SNEF – Maranhão. 2007.

GOBARA, S. T.; ERROBIDART, N. C. G.; MARQUES, S. M.; JARDIM, M. I. A.; ERROBIDART, H. A.; PLAÇA, L. F.. *O Conceito de Ondas na Visão dos Estudantes*. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – VI ENPEC, 2007, Florianópolis, SC. Atas do VI ENPEC. V.1. Florianópolis. 2007.

GOBARA, S. T.; MARQUES., S. M. *Aprendizagem de ondas sonoras por meio de uma situação adidática*. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – XI EPEF, 2008, Curitiba. Atas do XI EPEF. V.1. Curitiba. 2008.

GOTO, M. *Física e música em consonância*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 2, 2307, 2009.

GOUVEIA, R. *Velocidade do Som*. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/velocidade-do-som/>>. Acessado em 24 de outubro de 2019. 2018.

GUYTON, A. C. *Tratado de Fisiologia Médica*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986.

HALLYDAY, D., RESNICK, R. *Fundamentos de Física v.2*. Rio de Janeiro: LTC, 1991.

HELERBROCK, R. *O que é o Som*. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/o-que-som.htm>>. Acessado em 13 de agosto de 2019. 2017.

HELERBROCK, R. *Persistência da audição*. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/persistencia-audicao.htm>>. Acessado em 22 de outubro de 2019. 2018.

HREPIC, Z., ZOLLMAN, D. and REBELLO, N.S. *Identifying Students' Models of Sound Propagation*. In S. Franklin, K. Cummings and J. Marx (Eds.), *Proceedings of the 2002. Physics Education Research Conference* (pp. 59-62). 2002.

HUCHE, F. L. e ALLALI, A. "A Voz ". 2. ed. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1999.

IBAÑEZ, C. A. *O Som, Seus Parâmetros, e a Música: O Ensino Dos Elementos Musicais*. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 142 p. 2010.

INSTITUTO CIÊNCIA HOJE. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/2231>> Acesso em: 23 de junho de 2019.

JARDIM, M. I. A., ERROBIDART, N. C. G., GOBARA, S. T. *Levantamento dos trabalhos em ensino de física que investigam ondas sonoras*. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – XIEPEF, 2008, Curitiba. Atas do XI EPEF. V.1. Curitiba. 2008.

KADRI, S.; JAAFAR, R.; ADLI, W. Z. E NAZIHAN, A. *Physics demonstration of sound waves using Visual Analyser*. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 7, No. 1, March 2013.

LACERDA, A. B. M. et al. *Hábitos auditivos e comportamento de adolescentes diante das atividades de lazer ruidosas*. Rev. CEFAC. 13(2): 322-329. 2010.

LESSA, J. R. *Funções Trigonométricas*. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/matematica/funcoes-trigonometricas/>>. Acessado em 15 de agosto de 2019. 2018.

LINDER, C. J. *University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation*. International Journal of Science Education, v. 15, n. 6, p. 655-662, 1993.

LINDER, C. J.; ERIKSON, G. L. *A study of tertiary physics student's Conceptualizations of Sound*. International Journal of Science Education, v.11, Special Issues, p. 491-501, 1989.

LOPES, F. C., BELLAN, C. L., TAGLIATI, J. R. *Proposta para o Ensino de Ondas e Acústica Utilizando Música e Instrumentos Musicais*. In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física XVISNEF, 2005. Rio de Janeiro, RJ. Atas do XVI SNEF. Rio de Janeiro, RJ. 2005.

LÜDKE, E.; CAUDURO, P. J.; VIEIRA, A. M.; ADORNES, R. B.. *Velocidade do som no ar e efeito Doppler em um único experimento*. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol.34(1). 2012.

MAURINES, L. *Le raisonnement des étudiants dans la physique des ondes*. Bulletin de la société française de physique, décembre 2002-janvier 2003, n°137, p. 30. 2002.

MAZETI, L. J. B. *Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica para o ensino médio*. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Dissertação. 145 p. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba. 2017.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; CARVALHO, W. L. P. *O ensino de acústica nos livros didáticos de física recomendados pelo PNLEM: análise das ligações entre a física e o mundo do som e da música*. HOLOS, v. 1, p. 137–154, 2011.

MONTEIRO, F. N. Jr.; MEDEIROS, A. *Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos*. Ciência e Educação, Bauru, SP, v. 5, n. 2, p.1 -14, 1998.

MORTIMER, E. F. *Conceptual change or conceptual profile change?* Science & Education, 4, 265–287, 1995.

MORTIMER, E. F. *Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?* Investigações no Ensino de Ciências, 1(1), 20-39. 1996.

MORTIMER, E. F. *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. (eds.) *Conceptual Profiles: a theory of teaching and learning scientific concepts*. Dordrecht: Springer, 2014.

MOURA, M. A.; CURVO, E. A. C.; ASSIS, A. F. S.; BARROS, M. P. *Visualize a sua voz: uma proposta para o ensino de ondas sonoras*. Revista de Ensino de Ciências e Matemática. 8(1): 182-200. 2017.

NASCIMENTO, C. S.; GOBARA, S. T. *A contextualização do ensino de ondas sonoras por meio do corpo humano*. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências – VII ENPEC, 2009, Florianópolis. Ata do VII ENPEC. Florianópolis: ABRAPEC, v. 1, 2009.

NASCIMENTO, C. S.; GOBARA, S. T. *De onde vem o som da Voz*. In: V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências – V ENPEC, 2005, Bauru. Ata do V ENPEC. Bauru: ABRAPEC, v. 1, 2005.

NASCIMENTO, C. S.; GOBARA, S. T. *O uso do aparelho fonador para o ensino de ondas sonoras*. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências – VI ENPEC, 2007, Florianópolis. Ata do VI ENPEC. Florianópolis: ABRAPEC, v. 1, 2007.

NIÑO, L. V. M.. *Del evento sonoro al fenómeno físico: un estudio sobre las ideas que los estudiantes mantienen sobre el sonido*. Gondola : Enseñanza Aprendizaje de las Ciencias. Vol.10(1), pp.102-115. 2015.

NOGUEIRA, S. *Respiração*. Disponível em: <<http://www.lesaomedular.com.br/respiracao.htm>> Acesso em: 23 de junho de 2019.

OKUNO, E., CALDAS, I. L., CHOW, C. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. São Paulo: Harbra, 1982.

PAIS, L. C. *Didática da Matemática: uma análise da influência francesa*. 3 ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora. 2011.

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D. B.; PORTO, A. V. L.; DENARDIN, J. C.; MAGNAGO, P. R. ; . *Física - Ciência Viva. Oscilações e Ondas*. In: XIX SEURS Seminário de Extensão Universitária da Região Sul, Curitiba. 2001.

PEREIRA, J. L. *Atividade de ondas sonoras*. Proposta elaborada em Atividades Acadêmicas Curriculares – Iniciação à Extensão I, no 2º semestre letivo de 2006.

PIZETTA, D. C.; et al. *Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias*. Revista Brasileira de Ensino Física 2017, mar./2017, vol.39, n.3, p. 2017.

PRANDEL, L. *Física - Ponte Tacoma Narrows*. Disponível em: <<http://luisprandel.blogspot.com/2014/12/fisica-ponte-tacoma-narrows.html>>. Acessado em 12 de novembro de 2019. 2014.

PRANDI, F.; WURM, G. *Equipamiento de laboratorio de bajo costo: Tubo de Rubens*. Revista de enseñanza de la física. Vol.25(1), pp.79-87. 2012.

R.S.A.B. - Revista Scientific American Brasil. “*O refinado instrumento humano*”. Fevereiro de 2008, pg. 62-69. 2008.

RAMALHO, G.; GIOIA, O. *Conceitos e Terminologia Musical*. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/2302953/>>. Acessado em 07 de novembro de 2019 . 2014.

ROSÁRIO, C. A. L. *Propriedades do Som*. Disponível em: <<http://www.yduka.com/sumarios-e-licoes-8/item/reflex-som>> Acesso em: 23 de outubro de 2019. 2012.

RUI, L.R. STEFFANI, M. H. *Um recurso didático para ensino de ondas de física, biologia e música*. I Encontro Estadual de Ensino de Física - RS (1. : 2005 : Porto Alegre, RS). Atas / Encontro Estadual de Ensino de Física - RS; Organizadores Ives Solano Araujo [et al.]. – Porto Alegre : Instituto de Física – UFRGS. 212 p.: il. 2006.

RUI, L.R. *Uma proposta de conceitos físicos na 8º série através do som, e algumas importantes curiosidades e aplicações do seu estudo*. Mestrado profissional em Ensino de Física. Dissertação. Porto Alegre. UFRGS.. 155 p. 2006.

SAAB, S. C.; CÁSSARO, F. A. M.; BRINATTI, A. M. *Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de kundt para medir a velocidade do som no ar*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física , Florianópolis, SC, v. 22, n. 1, p.112-120, 2005.

SAMPAIO, E. B. R. COSTA, I., BRAZ, R. M. M. *Atividades para o ensino de ondas sonoras aos alunos surdos: uma proposta inclusiva*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Abi - Física) - Universidade Federal Fluminense. 2014.

SANTOS, E.M.; MOLINA, C. and TUFAILE, A.P.B.. *Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física*. Rev. Bras. Ensino Fís., vol.35, n.2, pp.1-7. 2013.

SANTOS, J. C. F. *Fenômenos Ondulatórios*. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/fenomenos-ondulatorios.html>> Acesso em: 23 de outubro de 2019. 2015.

SILVA, A. E., COSTA, J. F., CAMARGO, S., HILGER, T. R. e SAMOJEDEM, L. L. *Ensino de ondas sonoras e saúde auditiva na perspectiva dos 3MP e no enfoque CTS*. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – ENPEC, Florianópolis SC. 2017.

SILVA, K. N. *Experimentos em ondas e acústica para auxiliar o processo ensino e aprendizagem da física no ensino médio*. 2012. 188 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

SILVA, W. P. et al. *Um software para experimentos sobre batimento de ondas sonoras*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física , Florianópolis, SC, v. 21, n. 1, p.103 -110, 2004.

SILVEIRA, M. V., BARTHEM, R. B. SANTOS, A. C. F. *Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 1. 2019.

TAVARES, J. R. ; Souza, M. O. *Uma Proposta para a Apresentação de Conceitos de Acústica no Ensino Médio*. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luís. Anais do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007.



TIPLER, *Física, vol 1*, 4ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2000.

VIEIRA, L.P ; AMARA, D.F ; LARA, V.O.M. *Ondas sonoras estacionárias em um tubo: análise de problemas e sugestões*. Revista Brasileira de Ensino de Física, Março 2014, Vol.36(1). 2014.

VILAS BÔAS, C.S.N. e SOUZA FILHO, M.P.D. *Epistemologia de Bachelard e a Aprendizagem do Conceito de Ressonância*. Revista do Professor de Física. Brasília, vol. 2, n. 2. 2018.

VILAS BÔAS, C.S.N. e SOUZA FILHO, M.P.D. *Ressonância em tubos de garrafas “pet”:* uma opção de baixo custo para tubos de Kundt. Revista Experiências em Ensino de Ciências (UFMT). v.14, n.2, 2019.

VIVAS, D. B. P.; TEIXEIRA, E. S.; CRUZ, J. A. L.. *Ensino de Física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Vol.34(1), pp.197-215. 2017.

VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e Linguagem*. São Paulo: Editora Martins Fontes, 2008.

WELTI, R. *Obstáculos conceptuales en el aprendizaje de la energía de las ondas*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 27, n. 3, p.487-490, 2005.

WEST, E; WALLIN A. *Students' Learning of a Generalized Theory of Sound Transmission from a Teaching–Learning Sequence about Sound, Hearing and Health*. International Journal of Science Education, 35:6, p. 980-1011. 2013.

## APÊNDICE 1 – ROTEIRO

# Roteiro de Aula Experimental

## Ressonância em Tubos Sonoros

**Nome do Aluno:**

---

### 1. Introdução

Este material tem por objetivo discutir a propagação de ondas sonoras em tubos e aplicar estes conhecimentos na compreensão do funcionamento do sistema fonador, investigando quais fatores influenciam na formação dos diferentes harmônicos produzidos pelo nosso sistema fonador, em nossa laringe e caixa de ressonância.

#### 1.1. Objetivos

Alguns dos objetivos propostos para essa atividade são:

- a) Identificar pontos de pressão máxima e mínima no interior do tubo.
- b) Medir o comprimento de onda de uma onda estacionária produzida em um tubo sonoro fechado.
- c) Compreender a relação existente entre comprimento do tubo e comprimento de onda da onda sonora.
- d) Demonstrar os possíveis harmônicos formados no interior do tubo sonoro fechado.
- e) Determinar a velocidade do som no interior do tubo.
- f) Aplicar o conceito de ressonância na compreensão do comportamento das ondas sonoras no interior do tubo.

## 1.2. Fundamentação Teórica

### Sistema fonador

A voz é um dos principais sons emitidos pelo corpo humano. Ela é produzida por um conjunto de órgãos chamado sistema fonador. Ele é composto por órgãos do sistema digestivo, respiratório e pela boca. A voz é produzida na laringe, onde se localizam as pregas vocais. Ao respirarmos as pregas vocais se abrem e o ar entra e sai dos pulmões. Ao falarmos o diafragma relaxa, e ao relaxar comprime os pulmões e o ar é expulso. Ao ser expulso, o ar passa por duas pregas localizadas na faringe, as chamadas pregas vocais. Elas se aproximam e o ar que sai dos pulmões faz com que elas se perturbem produzindo uma vibração que dá origem ao som da voz.

No momento em que as pregas vocais estão mais tensionadas, a frequência de vibração é maior, produzindo um som mais agudo. Se as pregas vocais estão menos tensionadas, o número de vezes que elas vibram, a cada segundo, é menor, ou seja, a frequência de vibração é menor, produzindo um som mais grave. A laringe se movimenta deixando as pregas vocais mais ou menos tensionadas (esticadas), o que nos ajuda a produzir sons agudos e graves.

Podemos controlar voluntariamente o grau de tensão das pregas vocais e com isso modulamos a nossa voz. O som produzido passa pela laringe, faringe e cavidades nasais e é articulado na boca, dentes, língua, lábios, mandíbula e palato (céu da boca). Estas estruturas criam uma resistência à passagem do ar e modificam o som produzindo a fala. Ver figura 1.

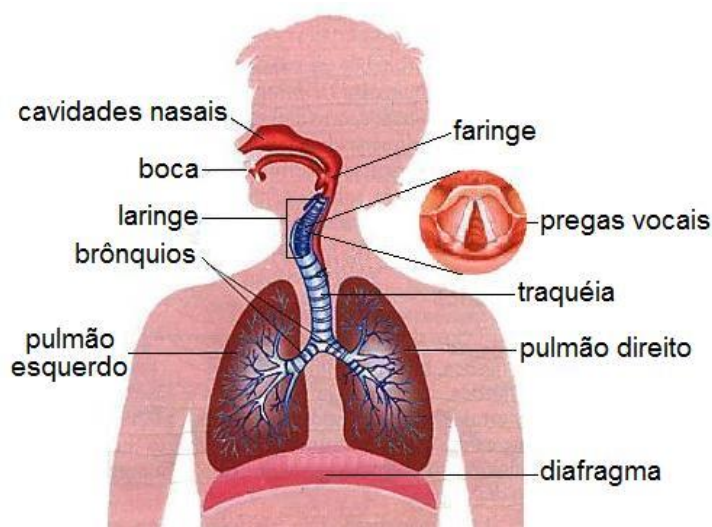


Figura 1. Nome dos principais órgãos do Sistema Fonador (LEAL, 2009).

## Tubos Sonoros

Tubos sonoros são aqueles que emitem sons ao serem percorridos por colunas de ar, como flautas, clarinetes, saxofones, apitos, cornetas, nossa laringe, entre outros. Nesta coluna de ar são produzidas ondas estacionárias longitudinais e as extremidades destes tubos podem ser abertas ou fechadas.

Em um tubo fechado em uma de suas extremidades, as perturbações provocadas no ar por uma fonte de onda sonora se propagam pelo tubo e sofrem reflexões. A onda refletida possui a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda da onda emitida pela fonte sonora. Elas se sobrepõem gerando pontos de interferência construtiva, onde as amplitudes das ondas se somam, e interferência destrutiva, onde as amplitudes das ondas se subtraem, configurando assim uma onda estacionária. Em tubos sonoros fechados podemos ilustrar as ondas estacionárias da seguinte forma:

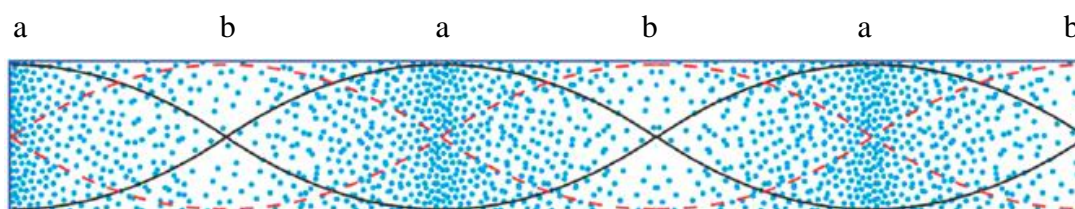


Figura 2. Ondas sonoras em tubos fechados

Estão representadas acima algumas regiões de compressão (a) e rarefação (b) do ar. Os pontos azuis representam a densidade das partículas de ar em cada região. A linha vermelha pontilhada representa a amplitude do deslocamento das moléculas de ar no interior do tubo e a linha preta contínua representa a amplitude da pressão exercida pelas moléculas de ar em cada região.

Na extremidade aberta, sempre será formada uma região de rarefação, onde as partículas de ar se movimentam mais, por conta disso há uma menor concentração de partículas de ar nesta região. Na extremidade fechada sempre será formada uma região de compressão, onde as partículas de ar vibram menos, por conta disso há uma maior concentração de partícula de ar nesta região. O comprimento do tubo é representado pela letra **L**. Cada um dos modos de vibração da onda dentro de um tubo é chamado de harmônico, e é representado pela letra **n**. Para o tubo fechado temos a seguinte representação:

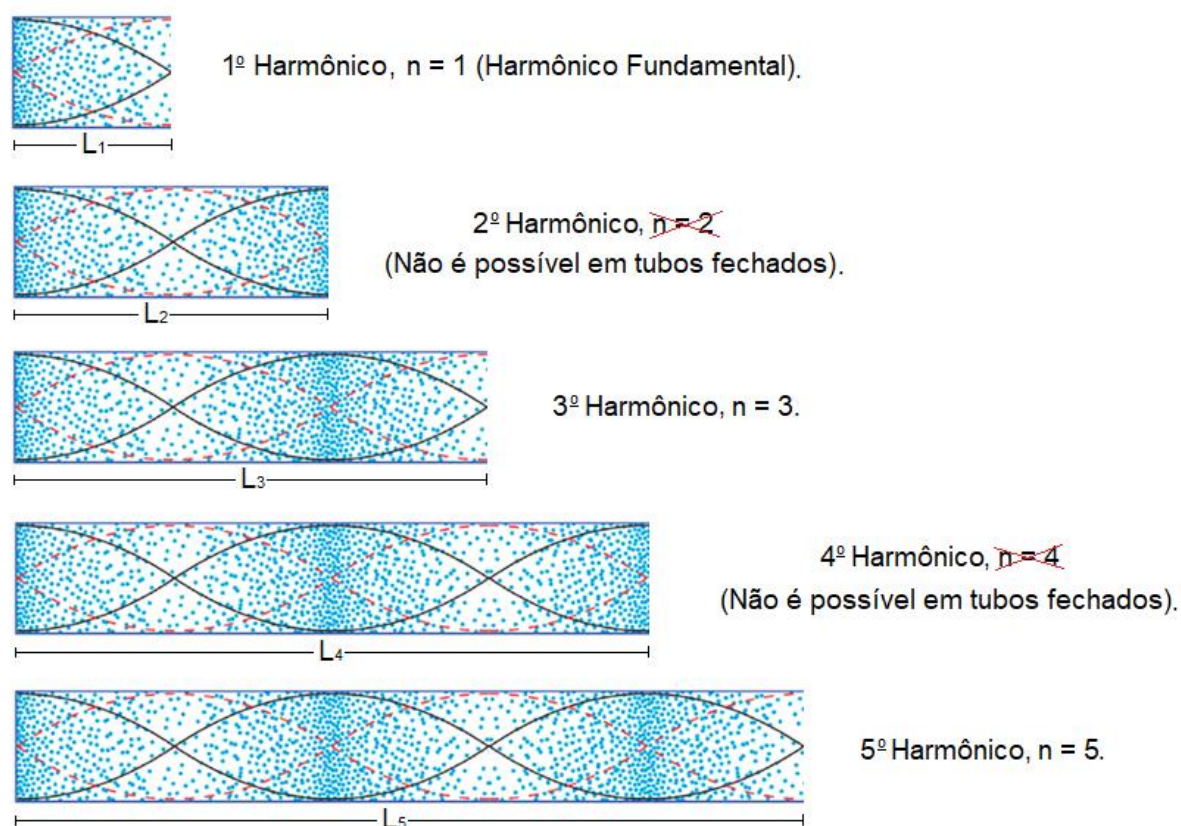


Figura 3. Harmônicos em tubos fechados

Percebemos que o comprimento do tubo  $L$  será sempre múltiplo ( $n = 1, 3, 5, 7, \dots$ ) de um quarto do comprimento de onda  $\lambda$ . Temos então que:

$$L = n \cdot \lambda$$

4

Os pontos de maior pressão, onde há compressão do ar (a), estão relacionados com os maiores volumes de sons produzidos no tubo sonoro. Já os pontos de menor pressão, onde há rarefação do ar (b), estão relacionados com os menores volumes de sons produzidos no tubo sonoro. Com a observação desses pontos de volume máximo e mínimo podemos estimar o comprimento de onda da onda sonora propagada dentro do tubo.

Também podemos estimar o valor da velocidade do som dentro do tubo sabendo que a velocidade  $v$  de uma onda é dada pelo produto entre o comprimento de onda  $\lambda$  e a frequência  $f$  da onda produzida. Assim temos que:  $v = \lambda \cdot f$

Trataremos neste experimento do comportamento de tubos fechados de comprimento variável e contextualizaremos os conceitos abordados na compreensão do funcionamento de diferentes

tubos sonoros, em especial nossa laringe, que funciona como um tubo fechado em uma de suas extremidades, amplificando o som produzido pelas pregas vocais e produzindo diferentes tipos de harmônicos.

### 1.3. Questões iniciais

Antes de realizar a atividade proposta, tente responder às questões a seguir:

a) O que é ressonância?

---

---

---

b) Quais fenômenos ondulatórios são necessários para que a ressonância ocorra?

---

---

---

c) É possível que a ressonância ocorra em tubos sonoros? Por quê?

---

---

---

d) Qual equação relaciona o comprimento de onda com o comprimento de tubos sonoros fechados?

---

---

---

e) Qual equação relaciona a velocidade do som com a frequência e o comprimento da onda?

---

---

---

## 2. Experimento com Tubo de 45 cm de comprimento

Realizaremos agora o experimento com um tubo de 45 cm de comprimento.

### 2.1. Materiais Necessários

- 1 tubo cilíndrico de garrafa pet de 6,0cm de diâmetro e 45cm de comprimento com uma extremidade fechada e outra aberta.
- 1 fonte sonora com gerador de frequência (celular ou computador acoplado a uma caixa de som).
- bolinhas de isopor de diâmetro aproximando de 1mm.
- 1 régua

### 2.2. Procedimento

- Prepare a fonte sonora

Para utilizar o celular como fonte sonora, basta instalar um aplicativo Gerador de Frequência, que ocupa pouca memória, disponível gratuitamente para celulares com Android. Para fazer o download, faça uma busca pela expressão “Gerador de Frequência App Google Play” utilizando preferivelmente o navegador Chrome e a ferramenta de busca da Google.

- Clique na primeira opção disponibilizada e realize a instalação do aplicativo.

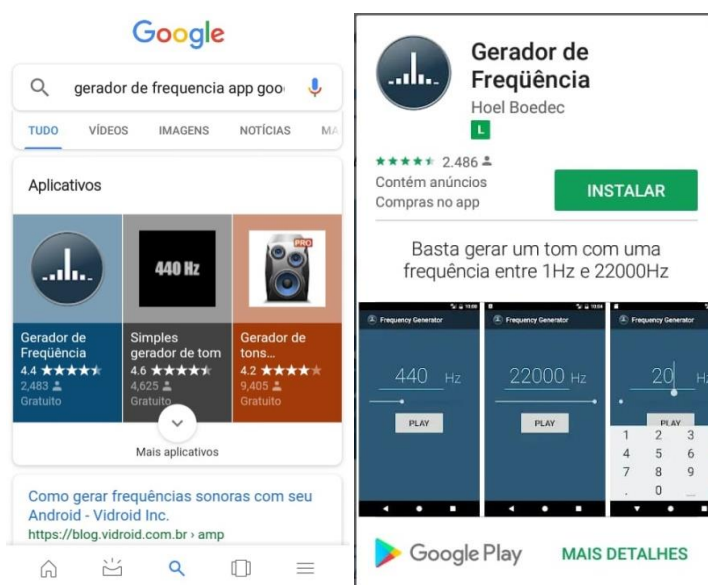


Figura 4. Instalação de Gerador de Frequência

Ajuste a frequência do gerador para 183 Hz.

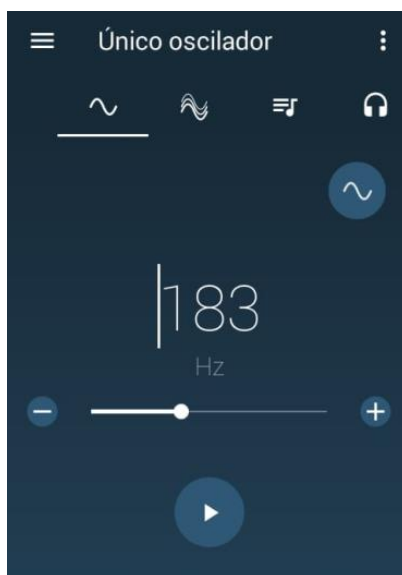


Figura 5. Gerador de Frequência

c) Posicione o tubo de 45cm na horizontal e distribua as bolinhas de isopor de forma homogeneia ao longo da parte interna do tubo. Depois, posicione a fonte sonora (caixa de som) próximo da extremidade aberta do tubo, como ilustrado na figura a seguir.

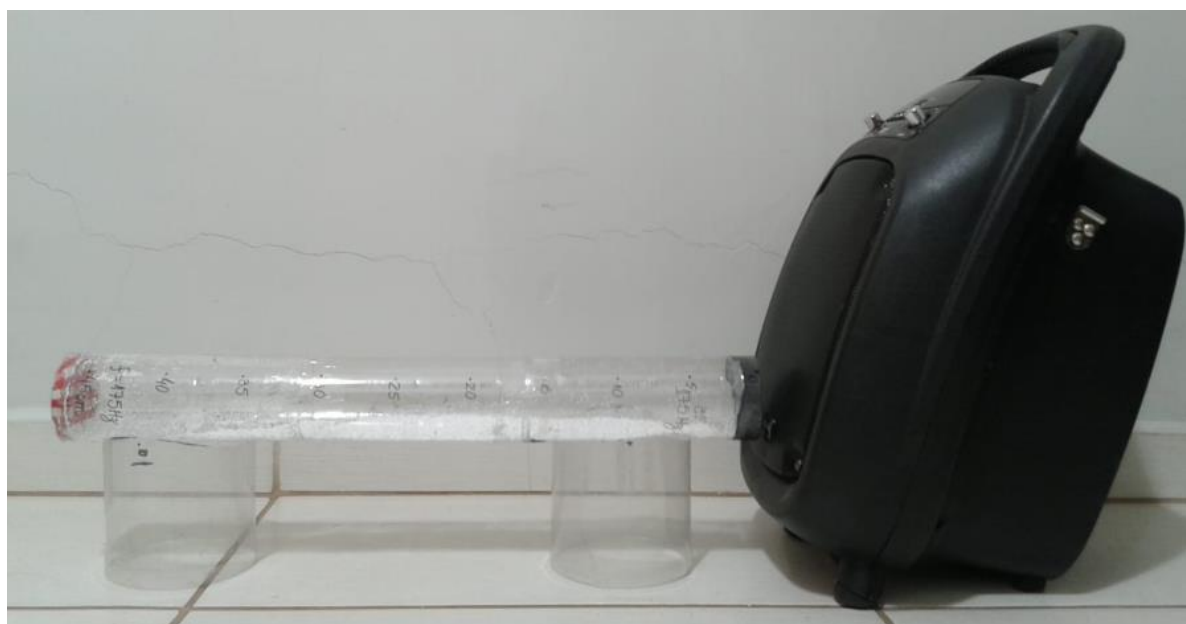


Figura 6. Ilustração do tubo sonoro de 45 cm.



d) Ligue o gerador de frequência (celular) e observe o movimento das bolinhas de isopor.

e) Identifique quais pontos possuem maior vibração das bolinhas de isopor.

---

f) Identifique quais pontos possuem menor vibração das bolinhas de isopor.

---

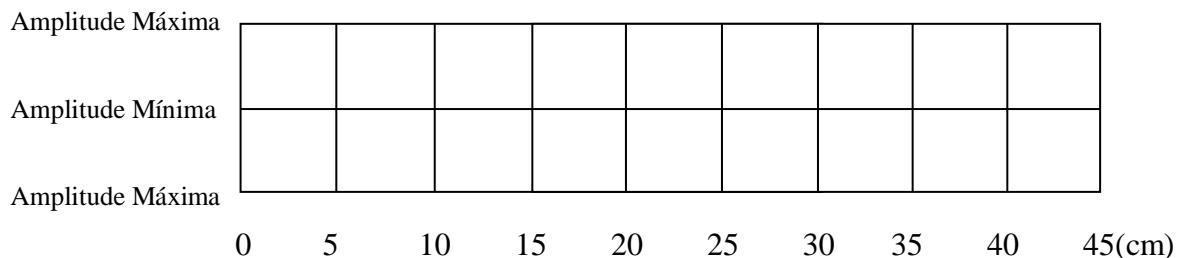
g) Determine o comprimento  $\lambda$  da onda sonora que se propaga dentro do tubo, sabendo que a velocidade  $v$  do som no ar é aproximadamente 330 m/s e a frequência  $f$  da onda produzida é de 183Hz. Para isso, você pode utilizar a relação  $v = \lambda \cdot f$ .

$\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$  m

h) Identifique o harmônico  $n$  produzido no tubo sabendo que o comprimento do tubo é 45cm. Para isso, você pode utilizar a relação  $L = n \cdot \lambda/4$ .

$n = \underline{\hspace{2cm}}$

i) Faça uma representação da onda produzida no tubo, com base no exemplo dado na Figura 3.



j) Compare a representação da onda feita acima com os pontos de máxima e mínima vibração das bolinhas de isopor observados dentro do tubo. A ilustração feita está de acordo com o movimento das bolinhas de isopor observado dentro do tubo? Por quê?

---



---



---



---

### 3. Experimento com Tubo de 40 cm de comprimento

Realizaremos agora o experimento com um tubo de 40 cm de comprimento.

#### 3.1. Materiais Necessários

- a) 1 tubo cilíndrico de garrafa pet com diâmetro de 9,5cm e comprimento aproximado de 40cm com êmbolo móvel.
- b) 1 fonte sonora com gerador de frequência (celular, computador ou caixa de som).
- c) 1 caneta marcador permanente.
- d) 1 régua

#### 3.2. Procedimento

- a) Prepare a fonte sonora (caixa de som ou celular).
- b) Ajuste a frequência do gerador para 1760 Hz.
- c) Ligue o gerador de frequência e posicione a fonte sonora na parte inferior do tubo como ilustrado na figura a seguir.

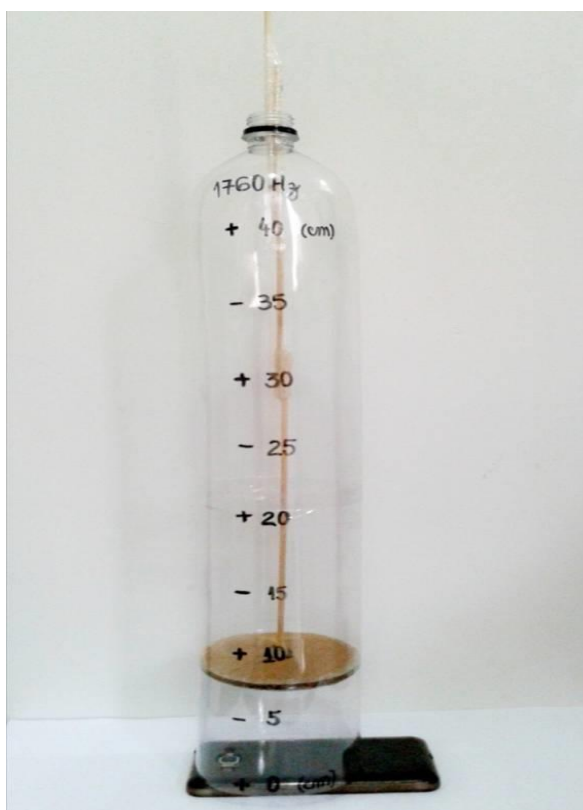
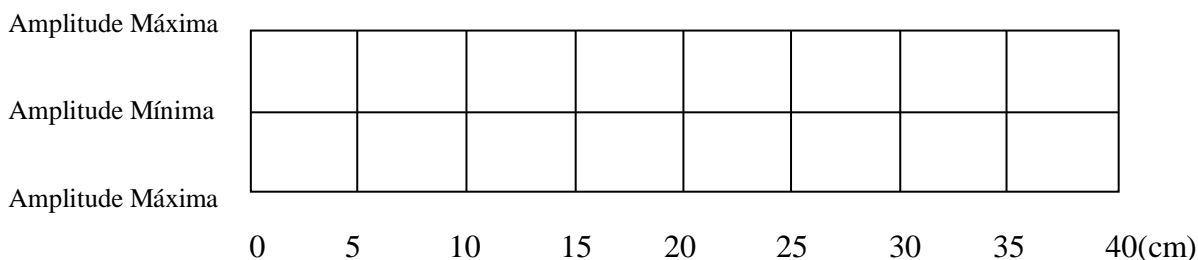


Figura 7. Ilustração do tubo sonoro de 40cm.

d) Movimente o êmbolo por todo o comprimento do tubo e identifique no tubo os pontos onde a intensidade do som é máxima com um sinal positivo (+) e os pontos onde a intensidade do som é mínima com um sinal negativo (-), utilizando uma caneta permanente.

e) Faça uma representação da onda produzida no tubo, com base no exemplo dado na Figura 3.



f) Com base na representação feita, determine o comprimento da onda produzida no tubo.

$\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$  metros

Agora, utilizando a relação: 
$$\mathbf{L = \frac{n \cdot \lambda}{4}}$$

g) Determine o comprimento do tubo quando o primeiro harmônico da onda sonora é produzido.

$L_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  m

h) Determine o comprimento do tubo quando o segundo harmônico da onda sonora é produzido.

$L_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  m

i) Determine o comprimento do tubo quando o terceiro harmônico da onda sonora é produzido.

$L_3 = \underline{\hspace{2cm}}$  m

j) Determine o comprimento do tubo quando o quarto harmônico da onda sonora é produzido.

$L_4 = \underline{\hspace{2cm}}$  m

k) Descreva o que ocorre com o volume do som quando o êmbolo está nas posições determinadas acima.

---



---



---

### 3.3. Discussões sobre o tubo de 40 cm.

Com base nos conceitos de ondulatória e nas observações feitas no tubo de 40cm de garrafa pet, responda às questões a seguir.

a) Explique porque existem pontos dentro do tubo onde o volume do som é máximo e pontos onde o volume do som é mínimo.

---

---

---

---

b) Descreva quais fenômenos ondulatórios ocorrem com a onda sonora dentro do tubo.

---

---

---

---

c) Cite pelo menos três situações onde poderíamos utilizar estes conceitos de tubos sonoros.

---

---

---

---

d) Como poderíamos aumentar o volume do som produzido nas três situações citadas acima, utilizando o conceito de ressonância.

---

---

---

---

---

## 4. Aplicação do conhecimento

Nossa laringe tem o formato de um tubo por onde se propaga o som produzido com a vibração das pregas vocais. Como poderíamos utilizar o conceito de ressonância em tubos sonoros para aumentar o volume do som produzido em nossa laringe?

---

---

---

---

---

---

---

---

## 5. Referências

BERBEL, N.A.N. *Metodologia da Problematização: uma alternativa metodológica apropriada para o Ensino Superior*. Semina: Cio Soc./Hum., Londrina, v.16. n. 2., Ed. Especial, p.9-19, out. 1995.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.. *Física*. São Paulo/BRA: Cortez, (Coleção Magistério 2º Grau). 1991.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. *Fundamentos de Física: mecânica*. Volume 1. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

LEAL, Ernesto. *Studio Mel*. Disponível em: <<http://www.studiomel.com/18.html>>. Acessado em 24 de março de 2009.

NETTO, Luiz Ferraz. *Anéis Ressonantes*. Disponível em: <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10\\_01.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_01.asp)> Acessado em 09 de abril de 2009.

## **APÊNDICE 2 – ARTIGO I**

### **EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E A APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RESSONÂNCIA BACHELARD'S EPISTEMOLOGY AND THE LEARNING OF THE RESONANCE CONCEPT**

Claudia Santos do Nascimento Vilas Bôas<sup>1</sup>  
Moacir Pereira de Souza Filho

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Av. Costa e Silva - Pioneiros, Campo Grande - MS, 79070-900

#### **RESUMO**

Neste trabalho, buscamos investigar quais seriam os possíveis obstáculos epistemológicos, existentes no sistema cognitivo de um grupo de estudantes do Ensino Médio, para a aprendizagem do conceito de Ressonância e descrever um exemplo de perfil epistemológico para este conceito, segundo Bachelard (BACHELARD, 1996). Para isso, aplicamos um questionário com questões diagnósticas sobre o referido conceito para uma amostra de 33 estudantes. Verificamos que os principais obstáculos epistemológicos sugeridos nas respostas desses estudantes foram o obstáculo verbal e o substancialista e, além disso, que os estudantes pesquisados evidenciam uma concepção baseada na filosofia empirista e positivista para o conceito de Ressonância.

Palavras-chave: Ressonância, obstáculos epistemológicos, perfil epistemológico.

#### **ABSTRACT**

In this work, we aim at investigating the possible epistemological obstacles in the cognitive system of a group of high school students to learn the concept of Resonance and to describe an example of the epistemological profile for the latter, according to Bachelard (BACHELARD, 1996). For this, we applied a questionnaire with diagnostic questions about the referred concept to a sample of 33 students. We found that the main epistemological obstacles suggested in the responses were the verbal and substantial obstacles and that the researched students evidenced a concept based in the empiricist and positivist philosophy for the concept of Resonance.

Keywords: Resonance, epistemological obstacles, epistemological profile.

---

<sup>1</sup>E-mail: claudiasnvilasboas@gmail.com



## 1 INTRODUÇÃO

No âmbito educacional, muito se investiga sobre métodos e formas de ensino que possibilitem uma aprendizagem eficaz dos conceitos propostos pela Base Nacional Curricular Comum para as diferentes etapas de ensino formal regular. Estas investigações têm, como base, diferentes teóricos e epistemólogos que versam sobre aspectos determinantes da aquisição e desenvolvimento do conhecimento.

A psicologia educacional acredita que uma maneira de potencializar a aprendizagem é ter como ponto de partida aquilo que o estudante já sabe. Segundo Ausubel (1980):

Se quiséssemos reduzir a psicologia educacional em um único princípio este seria: O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que sabe e baseie nisso seus ensinamentos (Ausubel, 1980, p.137).

Quando questionamos aquilo que o aprendiz já sabe, somos atraídos para o aparente óbvio. Ou seja, fazemos conjecturas e deduções, sem perguntarmos para o detentor da resposta: o aprendiz. Além disso, quando ousadamente perguntamos o que ele já sabe, e este nos dá a resposta, precisamos saber tratar a informação recebida e fazer dela uma ferramenta em nosso planejamento do fazer pedagógico. Segundo Bardin (BARDIN, 2009):

Apelar para estes instrumentos de investigação laboriosa de documentos, é situar-se ao lado daqueles que, de Durkheim a P. Bourdieu passando por Bachelard, querem dizer não à “ilusão da transparência” dos factos sociais, recusando ou tentando afastar os perigos da compreensão espontânea. É igualmente “tornar-se desconfiado” relativamente aos pressupostos, lutar contra a evidência do saber subjetivo, destruir a intuição em proveito do “construído”, rejeitar a tentação da sociologia ingênua, que acredita poder apreender intuitivamente as significações dos protagonistas sociais, mas que somente atinge a projeção da sua própria subjetividade (BARDIN, 2009; p. 28).

Nesta busca, encontramos a importante contribuição dada pelo filósofo da

ciência e poeta francês Gaston Bachelard (1884 – 1962). Epistemólogo que teve suas obras direcionadas às questões da filosofia da ciência, com as obras como "A formação do espírito científico", de 1938; "A filosofia do não", de 1940; "O racionalismo aplicado", de 1949 e "O Materialismo Racional", de 1952; "A psicanálise do fogo", de 1938; dentre outros.

Neste trabalho, nos ateremos aos conceitos definidos pelo autor no livro "A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento", com tradução para o português de 1996, onde Bachelard discute alguns conceitos existentes nos estudantes que podem servir como barreiras para a aquisição do conhecimento científico, os chamados *obstáculos epistemológicos* (BACHELARD, 1996) e ao conceito de *perfil epistemológico*, decorrido no livro "A Filosofia do Não" (BACHELARD, 1978).

Fundamentados nesses princípios, este artigo se propõe a discutir as respostas dadas por 33 estudantes do Ensino Médio de uma escola pública de Mato Grosso do Sul a um questionário proposto pelo professor pesquisador com questões diagnósticas sobre o conceito de Ressonância e suas aplicações. A escolha do conceito de Ressonância se justifica devido a grande dificuldade que os estudantes encontram em compreender temas abstratos como este e a pouca produção de trabalhos na área de ensino com esta temática.

Trata-se de uma Pesquisa Qualitativa (LUDKE, 1986) baseada na Análise de Conteúdo (BARDIN, 2009), onde investigaremos os possíveis obstáculos epistemológicos existentes no cognitivo dos estudantes referentes à aprendizagem do conceito de Ressonância e construiremos uma representação do espectro do perfil epistemológico existente na concepção de um dos estudantes participantes para este conceito.

Este trabalho é parte de uma pesquisa que tem como objetivo a elaboração e validação de uma sequência didática (ZABALA, 1998) sobre o tema de Ressonância, a ser aplicada para estudantes de Ensino Médio, servindo como base para a continuação da pesquisa. Para tanto, discutiremos a seguir os principais preceitos dos referenciais teóricos e metodológicos deste trabalho.



## 2 A EPISTEMOLOGIA DE GASTON BACHELARD

As obras de Gaston Bachelard são vastas e multifacetárias. Ele próprio as classifica em diurna, referindo-se às obras na parte de epistemologia e história das ciências, e noturna, tratando-se dos estudos no âmbito da imaginação poética, dos devaneios e dos sonhos. Essa classificação é externada quando afirma que:

Demasiadamente tarde, conheci a boa consciência, no trabalho alternado das imagens e dos conceitos, duas boas consciências, que seria a do pleno dia e a que aceita o lado noturno da alma (BACHELARD, 1988, p. 52).

Bachelard dedicou boa parte de seu trabalho à compreensão da concepção do conhecimento científico e em mobilizar cientistas e filósofos a uma ruptura do conceito de ciência, que se opunha a visão dogmática de linearidade. Estando nesta ruptura sua principal base ideológica.

O momento histórico em que viveu, onde uma mudança paradigmática se impunha à comunidade científica, em especial à Física, com a teoria da relatividade e a mecânica quântica, com os trabalhos de Einstein e outros, foi determinante para a inquietação e compreensão da necessidade de uma real ruptura no pensamento científico. Ele elucidava sobre a necessidade de se perder a resistência em se viver experiências novas. Para o autor:

Antes de mais, é preciso tomar consciência do fato de que a experiência nova diz não à experiência antiga; se isso não acontecer, não se trata, evidentemente, de uma experiência nova. Mas este não nunca é definitivo para um espírito que sabe dialetizar os seus princípios, constituir em si novas espécies de evidência, enriquecer o seu corpo de explicação sem dar nenhum privilégio àquilo que seria um corpo de explicação natural preparado para explicar tudo (BACHELARD, 1978, p.7).

Este desprendimento do dogma científico é necessário quando percorremos o vetor epistemológico que, segundo o autor “vai seguramente da razão para o experimento”. Ele entende estes dois aspectos como fundamentais, porém enfatiza que a razão se sobrepõe ao experimento. Diz-se então que seu pensamento vai de um racionalismo aplicado para um materialismo racional. O extremo racionalista é composto pelo idealismo, o convencionalismo e o formalismo abstrato das leis; em contra partida, o extremo realista tem como base o positivismo, o empirismo e o

concretismo dos experimentos.

Nessa evolução do pensamento:

O pensamento pré-científico não se fecha no estudo de um fenômeno bem circunscrito. Não procura a variação, mas sim a variedade. E essa é uma característica bem específica: a busca da variedade leva o espírito de um objeto para outro, sem método; o espírito procura apenas ampliar conceitos; a busca da variação liga-se a um fenômeno particular, tenta objetivar-lhe todas as variáveis, testar a sensibilidade das variáveis. Enriquece a compreensão do conceito e prepara a matematização da experiência (BACHELARD, 1996, p.11).

O conceito de erro perde seu caráter pejorativo de “equivoco a ser evitado” e ganha status de “validador da verdade”. A busca da ciência por uma verdade, que antes era absoluta, dá lugar a um discurso verdadeiro, porém tendo como pano de fundo o erro (BACHELARD, 1986). Este erro muitas vezes impõe uma ruptura, comumente negada no ambiente escolar.

Para Bachelard, devemos também superar a ideia de continuidade do conhecimento científico em que o conhecimento do senso comum se diferia do científico apenas pelo grau de profundidade. Essa dinâmica de erro, ruptura e descontinuidade é a estrutura necessária para a superação dos obstáculos epistemológicos, que trataremos a seguir.

## 2.1. Os Obstáculos Epistemológicos

A definição de obstáculos epistemológicos é posta por Bachelard como conceitos que se colocam como empecilhos para a aprendizagem. Podem ser conhecimentos empíricos apreendidos no cotidiano ou mesmo adquiridos na escola. Eles inevitavelmente são inerentes do processo de aquisição de conhecimento e constituem-se como entraves na passagem entre o senso comum e o conhecimento científico, dificultando a aquisição do próprio pensamento científico, necessária ao seu avanço.

Ao falar sobre os obstáculos epistemológicos, Bachelard afirma que:

Não se tratam de obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional,

lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 1996; p.17).

O epistemólogo francês considera que existem corpos de conhecimentos intrínsecos ao sujeito que podem impedir o desenvolvimento do conhecimento científico e devem ser superados. Descreveremos a seguir as características e aplicações dos obstáculos epistemológicos tratados pelo autor.

### 2.1.1. A experiência primeira

A experiência primeira constitui-se como um dos principais obstáculos elencados pelo autor. Trata-se do encantamento provocado pelos fenômenos naturais que, muitas das vezes, por serem tão surpreendentes, roubam a atenção destinada à compreensão do conceito que o gera. A experiência primeira privilegia a imagem em detrimento da ideia, assim, o primeiro conhecimento constitui-se em um primeiro erro. Escapar destes obstáculos nos exige um certo esforço, pois:

Ao espetáculo dos fenômenos mais interessantes, mais espantosos, o homem vai naturalmente com todas as suas paixões, com toda a alma. Não é pois de admirar que o primeiro conhecimento objetivo seja um primeiro erro. (BACHELARD, 1996, p. 68).

A grande sedução dessa ciência é que ela não exige reflexão, mas apenas contemplação passiva, sem busca pela compreensão e elaboração de leis, se restringindo a uma simples observação dos fenômenos. Ficar preso à primeira vista é uma tendência do ser humano. Ficamos presos às experiências empírico-concretas.

Para superar esse obstáculo, o professor em sala de aula deve “levar a bancada para o quadro negro”, ou seja, não se satisfazer apenas com a beleza do experimento, mas levar o estudante à compreensão da teoria que o justifica. Essa abstração do visual leva a construção de uma ciência formal e racional, madura e reflexiva.

### 2.1.2. A generalização

O segundo obstáculo elencado por Bachelard é o da generalização

exacerbada e sem fundamentação. Engloba-se uma gama de fenômenos em um único grupo de conceitos, associando-os de forma arbitrária, reforçando muitas vezes um erro conceitual existente no senso comum. Este obstáculo imobiliza o pensamento, acomoda os sentidos, e dá inércia à evolução dos conceitos.

Segundo Bachelard:

Há de fato um perigoso prazer intelectual na generalização apressada e fácil. [...] A busca apressada da generalização leva muitas vezes a generalidades mal colocadas. [...] é possível constatar que essas leis gerais bloqueiam atualmente as ideias. Respondem de modo global, ou melhor, respondem sem que haja pergunta. [...] Então, tudo fica claro; tudo fica identificado. Mas, a nosso ver, quanto mais breve for o processo de identificação, mais fraco será o pensamento experimental (BACHELARD, 1996; p.84).

Atualmente, o conhecimento científico apresenta aspectos opostos aos da generalização, podendo surgir a partir da definição preliminar da verdade ou da generalização de uma experiência específica para os mais variados fenômenos. O obstáculo epistemológico da generalização pode ser oriundo de uma aquisição de conceitos ou de uma formação de conceitos.

A generalização exposta pelo professor ao estudante é vista por Bachelard como outro obstáculo epistemológico e pode dificultar o desenvolvimento do espírito científico, por ter o potencial de bloquear o caráter investigativo e curioso do estudante, tão necessário para a descoberta e o aprendizado. O que parecia um conhecimento geral, na verdade trata-se de um conhecimento superficial.

### 2.1.3. O obstáculo verbal

Nesse obstáculo epistemológico, ressalta-se a interferência que uma simples figura ou palavra pode causar na compreensão de um conceito. A compreensão errada delas pode potencializar uma concepção equivocada da ciência. Bachelard alerta que o obstáculo verbal está diretamente relacionado com a generalização por induzir conceitos de diferentes fenômenos partindo de uma única palavra ou imagem.

Outro recurso usado na compreensão da ciência que pode se tornar um obstáculo verbal são as metáforas e analogias. Segundo Bachelard:

O perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito

científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem (BACHELARD, 1996; p.99).

O professor que utiliza recursos de imagens, analogias, metáforas, ou mesmo a sintetização por meio de palavras chaves, deve ter consciência de que pode levar seus estudantes a terem concepções equivocadas sobre o tema abordado, adquirirem ao invés de conhecimento, um obstáculo epistemológico verbal.

#### 2.1.4. O conhecimento unitário e pragmático

O quarto obstáculo epistemológico refere-se ao conhecimento pré-científico que se baseia na unidade para fazer inferências de reciprocidade. Neste pensamento, tudo o que descreve o geral, pode descrever o específico, tudo o que descreve o macro, pode descrever o micro, e vice-versa. Este é o chamado obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático.

Nesta concepção, a unidade é insistentemente buscada e sua sedução está no fato de que, com ela, podemos fazer previsões sem esforço cognitivo. Bachelard afirma que:

Para o espírito científico, a unidade é um princípio sempre desejado, sempre realizado sem esforço (...). As diversas atividades naturais tornam-se assim manifestações variadas de uma só e única Natureza. Não é concebível que a experiência se contradiga ou seja compartimentada. O que é verdadeiro para o grande deve ser verdadeiro para o pequeno, e vice-versa. A mínima dualidade desconfia-se de erro. Essa necessidade de unidade traz uma multidão de falsos problemas (BACHELARD, 1996; p.103).

Porém, se cedermos à sedução do pragmatismo e da generalização exacerbada, teremos um pensamento incompleto, mutilado, preocupado apenas com conveniência de se definir um conceito de maneira sucinta, mas sem de fato defini-lo em sua completude.

#### 2.1.5. O substancialismo

Quando atribuímos a um conceito características diversas, nos limitando apenas ao externo, sem nos preocupar com os aspectos intrínsecos do conceito,

estamos gerando um obstáculo substancialista. Para Bachelard, um obstáculo substancialista:

É constituído por intuições muito dispersas e até opostas. Por uma tendência quase natural, o espírito pré-científico condensa num objeto todos os conhecimentos em que esse objeto desempenha um papel, sem se preocupar com a hierarquia dos papéis empíricos. Atribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade manifesta como a qualidade oculta (BACHELARD, 1996; p. 105).

Para que se vença este obstáculo, deve-se ir além da explicação breve e definitiva, que se satisfaz com apenas um vislumbre de conhecimento. Alguém que tenha um espírito científico e que busque a real compreensão de fenômenos, não pode se limitar a relações superficiais entre fenômenos e objetos, deve ir além, buscar a real justificativa para o fenômeno.

#### 2.1.6. O obstáculo realista

Na ânsia de se fazer entender, algumas pessoas usam de analogias e metáforas, através de figuras de conceitos concretos para externar algo que é abstrato. São falas presas ao real suprimindo a compreensão do que não é material, visível, concreto. Bachelard afirma que este pensamento é tão resistente que:

O realismo pode, com razão, ser considerado a única filosofia inata, o que não nos parece vantagem. Para aquilatá-lo, é preciso ultrapassar o plano intelectual e compreender que a substância de um objeto é aceita como um bem pessoal. Apossa-se dela espiritualmente como se toma posse de uma vantagem evidente. Siga a argumentação de um realista; imediatamente ele está em vantagem sobre o adversário porque tem, acha ele, o real do seu lado, porque possui a riqueza do real, ao passo que seu adversário, um pródigo do espírito, persegue sonhos vãos. Em sua forma ingênua, em sua forma afetiva, a certeza do realista provém de uma alegria avarenta (BACHELARD, 1996; p. 139).

Essa avareza descrita pelo autor limita a evolução do espírito científico e o suprime a uma mutação de valores, onde o concreto se faz mais eficaz e conclusivo que o abstrato. Prova disso é que esse apego pelo real perdura até hoje, configurando-se em um obstáculo epistemológico encontrado regularmente em ambientes formais de ensino.

### 2.1.7. O obstáculo animista

O obstáculo epistemológico animista se evidencia quando atribuímos características animadas e vitais para seres inanimados. É comum fazermos uso de recursos animistas para nos referenciarmos a fenômenos inanimados. Esse hábito inviabiliza a abstração do estudante e limita brutalmente a formação do espírito científico.

É como obstáculos à objetividade da fenomenologia física que os conhecimentos biológicos devem chamar nossa atenção. Os fenômenos biológicos só nos interessarão, portanto, nos campos em que sua ciência falha, em que essa ciência, com maior ou menor garantia, vem responder a perguntas que não lhe são feitas. Em suma, aos entraves quase normais que a objetividade encontra nas ciências puramente materiais, vem juntar-se uma intuição ofuscante que considera a vida como um dado claro e geral (BACHELARD, 1996; p. 159).

Esta preferência pelos fenômenos biológicos dá a eles um valor que se sobrepõe às outras esferas de conhecimento, dando a ilusão de que a vitalização dos conceitos é capaz de torná-los mais próximos do estudante, mas, o que acontece na maioria das vezes é que analogias equivocadas com recursos animistas acabam por dar ao estudante uma compreensão errada do conceito.

### 2.1.8. O mito da digestão

Um fator importante para a aprendizagem é a internalização do conceito. Porém, pode criar-se uma falsa ideia de internalização do real, dando a ele um status de alimento, fonte de força. A digestão do conhecimento implica em tê-lo como posse.

A função de posse, que basta designar para perceber-lhe a evidência, é muito aparente em certos textos pré-científicos. [...] Essa posse é objeto de todo um sistema de valorização. O alimento sólido e consistente é mais prezado. O beber não é nada diante do comer. Se a inteligência se desenvolve ao seguir a mão que apalpa um sólido, o inconsciente se arraiga ao mastigar, de boca cheia, um prato de macarrão. É fácil perceber, na vida cotidiana, esse privilégio do sólido e da massa. Encontram-se sinais disso também em vários livros pré-científicos (BACHELARD, 1996; p. 181).

Nisso configura-se um mito de aprendizagem e desenvolvimento do conhecimento científico, evidenciando a avareza da necessidade da posse de algo

palpável, essência do mais forte realismo, servindo de obstáculo epistemológico para a evolução do espírito científico.

### 2.1.9. A libido e o conhecimento objetivo

Bachelard estabelece uma relação entre o mito da digestão e o conceito de libido, afirmando que:

O apetite é mais brutal, mas a libido é mais poderosa. O apetite é imediato; à libido, porém, correspondem os longos pensamentos, os projetos a longo prazo, a paciência. É preciso querer para tornar-se [...] O apetite se extingue no estômago saciado. A libido, mal acabou de ser satisfeita, reaparece. Ela quer a duração. Ela é a duração. A tudo o que dura em nós, direta ou indiretamente, liga-se a libido (BACHELARD, 1996; p. 195).

Para o autor, a libido consiste na evidencialização da relação do sujeito com o outro, deixando em segundo plano a relação entre o sujeito e o objeto em que se observa o fenômeno. Essa relação sexuada dos fenômenos científicos externa uma visão sintomática da ciência com conceitos como: substância pura e impura, bom e mal, dentre outros.

### 2.1.10. O conhecimento quantitativo

O último obstáculo epistemológico analisado por Bachelard é o obstáculo do conhecimento quantitativo. Para ele, a busca exacerbada por uma precisão uma quantidade cada vez maior de casas decimais por si só já se configura em um erro, visto que os próprios aparelhos de medida são passíveis de imprecisão. Ele exemplifica esse fato dizendo que:

Os problemas de física propostos nos exames de conclusão do ensino secundário representam uma mina inesgotável de exemplos dessa precisão mal fundada. As aplicações numéricas são feitas sem preocupação com o problema do erro. Basta uma divisão em que “sobra resto”, contas que “não dão certo”, para que o aluno se assuste. Se desiste, acha que o mérito da solução está no número de decimais. Não raciocina para ver que a precisão num resultado, quando vai além da precisão nos dados experimentais, significa exatamente a determinação do nada. As decimais da conta não pertencem ao objeto (BACHELARD, 1996; p. 227).

Na ânsia de se buscar uma precisão ao medir, perde-se a essência do que se



está medindo e qual o método usado na medição, tirando do estudante a possibilidade de se construir um senso crítico de análise do que deve ser descartado e do que deve ser levado em conta na análise quantitativa e na medição de um fenômeno.

## 2.2. Os Perfis Epistemológicos

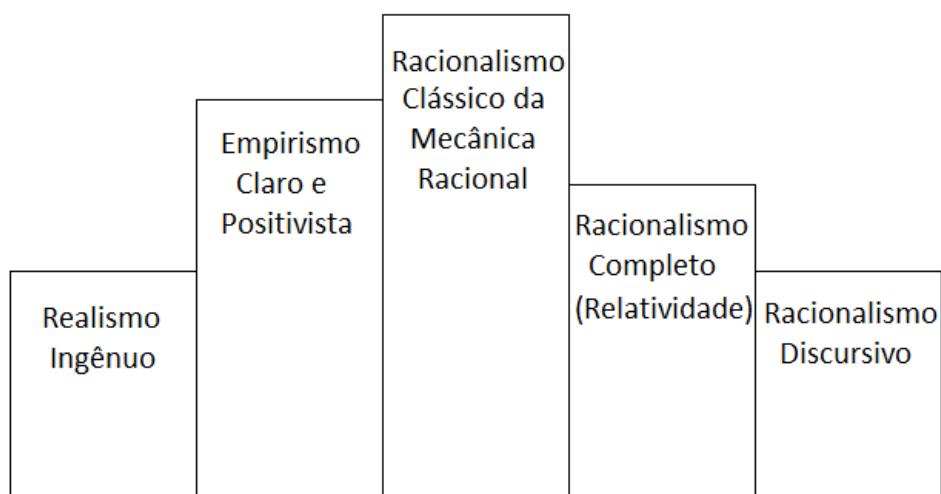
Além do conceito de obstáculo epistemológico, outro conceito referente à teoria de Bachelard importante para nossa pesquisa é o de perfil epistemológico. Bachelard, em seu livro “A Filosofia do Não” (BACHELARD, 1978). O autor define o perfil epistemológico como sendo o conjunto de atributos que cada sujeito possui em relação a certo conceito e em relação a certo estágio de sua cultura.

Nestas condições, parece-nos que uma psicologia do espírito científico deveria esboçar aquilo a que chamaremos o perfil epistemológico das diversas conceitualizações. Seria através de um tal perfil mental que poderia medir-se a ação psicológica efetiva das diversas filosofias na obra do conhecimento (BACHELARD, 1978; p. 25).

Este perfil epistemológico consiste em um espectro das filosofias que embasam nosso conhecimento. Cada visão que temos sobre um determinado conceito é carregado da visão filosófica que o norteia. Bachelard destaca cinco filosofias que considera descreverem as visões epistemológicas do conhecimento, são elas: o realismo ingênuo; o empirismo claro e positivista; o racionalismo newtoniano ou kantiano; o racionalismo completo e o racionalismo dialético.

Bachelard se coloca como ponto de análise e expõe seu próprio perfil epistemológico, dando como exemplo o espectro do conceito de massa com seu aporte filosófico:

Fig. 1 – Perfil epistemológico da nossa noção de massa (BACHELARD, 1978; p. 25).



Neste exemplo, Bachelard externa primeiramente sua concepção sobre o conceito de massa na visão do realismo ingênuo, relacionando-a com o volume do corpo. Em segundo lugar, na visão do empirismo claro e positivista, o autor externa o conceito de massa de um corpo como sendo a quantidade de matéria que o contém, medida por um instrumento como a balança, baseando-se em uma visão empirista clara e positivista.

Depois, externa a concepção de massa clássica newtoniana utilizando o princípio fundamental da dinâmica para análise de seu módulo. Mostra também o conceito de massa relativística com base na visão racionalista completa, evocando a relação estabelecida por Einstein entre massa e energia, e por fim, expõe a visão racionalista discursiva e dialética de massa, com base na teoria de Dirac, admitindo até mesmo o conceito de antimatéria.

No entanto, destaca-se que nem sempre a divisão entre as diferentes visões são tão claras e discrepadas umas das outras. Na maioria das vezes a linha que separa as diferentes visões é tênue e nebulosa, tornando árduo o trabalho de sistematização do perfil conceitual. Por conta disso, o ideal é que ele deve ser elaborado pelo próprio sujeito que o contém, e não por um pesquisador que o investiga, porém isso nem sempre é possível, seja por questões logísticas do pesquisador ou limitações cognitivas do pesquisado.

Um perfil epistemológico deve ser referido a um conceito designado, válido

para um espírito científico particular, e examinado em uma cultura particular. Bachelard afirma que:

Só depois de se ter recolhido o álbum dos perfis epistemológicos de todas as noções de base é que se pode estudar verdadeiramente a eficácia relativa das diversas filosofias. Tais álbuns, necessariamente individuais, serviriam de testes para a psicologia do espírito científico. Sugeriríamos, pois, de bom grado uma análise filosófica espectral que determinaria com precisão a forma como as diversas filosofias reagem ao nível de um conhecimento objetivo particular. Esta análise filosófica espectral necessitaria, para se desenvolver, de psicólogos que fossem filósofos e também de filósofos que aceitassem ocupar-se de um conhecimento objetivo particular (BACHELARD, 1978; p. 28).

Esse espectro de análise filosófica mostra uma sequência lógica no pensamento, alinhada pelo autor com os pensamentos realistas, empiristas e racionalistas. É necessário que se passe por cada uma destas fases, pois, se pularmos alguma delas, e formos direto para o racionalismo, correremos o risco de ficarmos limitados a um ensino puramente filosófico e pouco aplicável.

A importância de termos a consciência da existência destas diferentes visões é que uma única ideia filosófica não dá conta de definir um conhecimento de forma precisa. Quando vários espíritos científicos são questionados sobre um conceito específico, veremos emergir destes várias filosofias, e cada uma delas terá apenas uma das dimensões do espectro do perfil epistemológico individual de cada sujeito.

Por fim, destacamos a relação que Bachelard estabelece entre perfil e obstáculo epistemológico ao afirmar que:

Poderíamos relacionar as duas noções de obstáculo epistemológico e de perfil epistemológico porque um perfil epistemológico guarda a marca dos obstáculos que uma cultura teve que superar (BACHELARD, 1978; p. 30).

Com isso, concluímos nossos apontamentos sobre a teoria de Gaston Bachelard e passamos a descrever como esse referencial pode auxiliar nossa pesquisa. Jamais foi nossa pretensão dar ao leitor uma visão total e aprofundada dos conceitos descritos nas obras de Bachelard, nem tão pouco suprimi-los à definição de perfil ou obstáculos epistemológicos pois, segundo o próprio autor:

A noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação. Em ambos os casos, este estudo não é fácil. (BACHELARD, 1996, p. 21).

Porém, para este artigo, acreditamos ser necessária uma ênfase maior neste conjunto de conceitos da teoria.

### **3 BACHELARD E A APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RESSONÂNCIA**

Uma aplicação prática da Epistemologia de Bachelard na educação é a investigação do perfil epistemológico do estudante e os possíveis obstáculos epistemológicos para a evolução deste. A pesquisa qualitativa de análise de conteúdo, tendo como base a epistemologia descrita nos trabalhos de Bachelard, nos possibilita fazer um levantamento de quais conceitos os estudantes possuem sobre Ressonância, e quais são os obstáculos epistemológicos que dificultam sua aprendizagem.

Para este trabalho, descreveremos os significados sugeridos por estudantes do Ensino Médio de uma escola pública de Mato Grosso do Sul sobre Ressonância e os obstáculos epistemológicos referentes à sua aprendizagem.

#### **3.1. Os estudantes pesquisados**

Foram 33 estudantes do Ensino Médio de uma escola pública da periferia de Campo Grande, Capital do Mato Grosso do Sul, sendo 12 estudantes do 3º ano, 19 estudantes do 2º ano e 2 estudantes do 1º ano.

A escolha dos estudantes se deu pelos critérios de disponibilidade, voluntariedade e comprometimento demonstrados no momento do convite para participação da pesquisa. Além disso, os investigados são nossos estudantes na disciplina de Física.

Os estudantes do primeiro e segundo ano ainda não participaram de aulas sobre o tema de ondas ou ressonância. Os estudantes do terceiro ano relataram terem feito uma pesquisa descritiva sobre o tema, solicitada pela professora do ano anterior, porém, reconheceram não recordarem do conceito.

Nossa intenção, ao convidarmos estudantes com os quais ainda não havíamos trabalhado o conteúdo de Ressonância para participarem de nossa pesquisa, foi investigar quais conceitos eles possuem oriundos da interação não formal com o meio e, em pesquisas a posteriori, depois de haverem percorridas as aulas sobre ondas e ressonância, verificar se houve uma evolução nos perfis epistemológicos externados

pelos estudantes.

Vale ressaltar ainda que os estudantes relataram que suas concepções sobre ressonância advêm de sua observação de situações do cotidiano.

### 3.2. A Coleta de Dados

Como instrumento de coleta de dados, utilizamos um questionário com questões diagnósticas sobre o conceito de ressonância. Os estudantes estavam cientes por meio de termo de livre esclarecido que se tratava de uma pesquisa sem qualquer ônus e que visava uma melhoria para a prática em sala de aula. A seguir, descreveremos as perguntas feitas aos estudantes e a motivação que nos levou a colocar cada uma delas neste trabalho.

#### 3.2.1. Descrição das perguntas

A pergunta inicial era “O que é o som?”. Essa pergunta foi colocada para investigar quais eram as concepções de som que o estudante possuía e se ele conseguia estabelecer algum tipo de relação entre o conceito de som e de onda, descrevendo o som como uma perturbação propagando-se em um meio transportando energia.

Já na segunda pergunta “O que é uma onda sonora?”, a intenção era justamente oposta. Pretendíamos verificar se o estudante percebia que uma onda pode se apresentar de maneira audível ao ouvido humano, recebendo o nome de onda sonora. Estas duas perguntas iniciais também nos revelariam se o estudante já possui algum conceito formal ou informal dos conceitos mais gerais de ondas.

Nas perguntas três e quatro estão nosso foco maior de atenção. A pergunta três questiona de forma direta “O que é Ressonância?”. Nesta pergunta buscamos investigar quais conceitos, terminologias e obstáculos epistemológicos o estudante possui sobre o tema alvo de nossa pesquisa.

A quarta pergunta “Onde você pode observar o conceito de Ressonância em seu dia a dia?” foi direcionada para aqueles que, embora tenham tido dificuldade em responder de forma sistematizada a questão anterior, sugerindo não terem

conhecimento do tema, pudessem verbalizar um conhecimento empírico, mesmo que desconexo, do que vem a ser Ressonância.

As próximas perguntas ilustram situações práticas, onde o estudante teria a possibilidade de observar a formação do fenômeno de Ressonância e utilizá-lo para responder as questões propostas e explicar as situações descritas.

A quinta pergunta foi “Quando ficamos resfriados e nossas narinas ficam congestionadas, percebemos uma mudança no som de nossa voz. Em sua opinião porque isso acontece?”.

A sexta foi “Quando uma pessoa com voz aguda canta próxima a uma taça de cristal, ela se quebra. Em sua opinião, porque a taça se quebra?”. Para esta pergunta dispusemos uma imagem ilustrativa do fenômeno.

Fig. 2 – O som quebrando uma taça (Fonte: <https://i.ytimg.com/vi/eVM-5PToy4g/maxresdefault.jpg> acessado em 27/06/2017).



A sétima foi “O violão é um instrumento musical composto basicamente por cordas presas a uma estrutura oca de madeira. Em sua opinião, porque essa estrutura deve ser oca?”. Para esta pergunta também disponibilizamos uma figura ilustrativa.

Fig. 3 – Violão (Fonte: <http://www.royalmusic.com.br/wp-content/uploads/2010/08/SJ-200-Reissue-Natural.jpg> acessado em 27/06/2017).



Por fim, a última parte não se tratava de uma pergunta direta, mas indireta, que dizia: “O micro-ondas é um aparelho utilizado para aquecer os alimentos. Descreva com suas palavras como ele consegue aquecer os alimentos”. Com esta pergunta buscou-se expor o estudante ao fenômeno de Ressonância em ondas eletromagnéticas.

Depois de descritas e justificadas as perguntas dispostas no questionário, exporemos a seguir a análise dos dados obtidos. Com base nas respostas dadas, construiremos as categorias de análise e investigaremos os possíveis obstáculos epistemológicos contidos nas respostas dos estudantes e o perfil epistemológico de um dos alunos pesquisados para Ressonância.

### 3.3. Possíveis Obstáculos Epistemológicos para Ressonância

Para iniciarmos a análise de dados, tabulamos as respostas dadas nos questionários e correlacionamos com os obstáculos epistemológicos que elas sugerem. Os 10 obstáculos foram referenciados por OB1 à OB10, obedecendo à ordem apresentada inicialmente. As 8 questões foram referenciadas por Q1 à Q8 e os 33 estudantes foram identificados por E01 à E33. Os estudantes de E01 à E12 são do 3º ano, os estudantes E13 à E31 são do 2º ano e os estudantes E32 e E33 são do 1º ano.

As siglas NS, NR e C correspondem, respectivamente, a não sabe, não respondeu e certo. Segue a tabela com a ocorrência dos obstáculos epistemológicos sugeridos nas respostas dos estudantes.

Tabela 1 – Tabela de ocorrências de obstáculos epistemológicos

		QUESTÕES							
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
<b>ESTUDANTES</b>	<b>E01</b>	OB3	OB3	OB5	OB5	OB2	C	OB5	OB3
	<b>E02</b>	OB3	NS	OB2	NR	OB5	OB3, OB5	OB5	C
	<b>E03</b>	OB7	OB7	OB5	OB3, OB5	OB5	OB5	OB3	OB5
	<b>E04</b>	OB5	OB5	OB5	NS	NS	OB1, OB9	OB5	OB3, OB5
	<b>E05</b>	OB5	NS	NS	OB5	OB5	OB5	OB5	NS
	<b>E06</b>	OB1	OB4	OB5	NS	OB7	OB3	OB2, OB3	NS
	<b>E07</b>	OB4	NS	NS	NS	OB2	OB3	NS	NS
	<b>E08</b>	NS	NS	NS	NS	NS	C	OB5	OB3
	<b>E09</b>	OB1, OB3	OB3	NS	NS	OB5	NS	OB5	OB3
	<b>E10</b>	OB1	OB7	NS	NS	OB5	OB2, OB6	NS	NS
	<b>E11</b>	OB1, OB7	OB3	NS	NS	NS	OB3	NS	NS
	<b>E12</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	<b>E13</b>	OB1	OB1	OB5, OB7	OB5	OB5	OB1, OB3	OB5	OB1
	<b>E14</b>	C	C	OB2	OB2, OB3, OB5	C	NR	NR	NR
	<b>E15</b>	C	OB5	OB3	OB1, OB5	OB5	OB5	OB1	OB3, OB5, OB9
	<b>E16</b>	OB1, OB5	OB5	OB3	OB3, OB5	NS	C	OB5	NS
	<b>E17</b>	OB1	OB5	OB3	OB3, OB5	OB5	OB1, OB3	OB3, OB5	OB2
	<b>E18</b>	OB1	NS	OB3	OB3, OB5	OB5	OB6	OB3	OB5
	<b>E19</b>	OB1, OB2	NS	OB3	NS	NS	OB3, OB5	OB3	OB3, OB5
	<b>E20</b>	OB1	NS	OB3	NS	NS	NS	NS	NS
	<b>E21</b>	OB5	OB5	NS	NS	OB5	NR	NR	NR
	<b>E22</b>	NS	OB2	NS	NS	OB5	OB3	OB5	OB5
	<b>E23</b>	NS	NS	NS	NS	OB1,	OB1,	NS	OB5



						OB5	OB5		
<b>E24</b>	OB1	OB5	NS	NS	NS	OB5	NS	OB5	OB5
<b>E25</b>	OB1	NS	NS	NS	NS	OB1	OB2	OB5	OB5
<b>E26</b>	OB1	OB5	NS	NS	NS	OB5	OB5	OB3, OB5	OB5
<b>E27</b>	OB1	OB5	NS	NS	NS	OB5	OB5	OB4	OB5
<b>E28</b>	OB1	OB5	NS	NS	NS	NR	NS	OB4	NS
<b>E29</b>	OB5, OB7	NS	NS	NS	NS	OB1	OB5	OB3	NS
<b>E30</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>E31</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	OB5	OB5	NS
<b>E32</b>	OB1	C	NS	NS	NS	OB5	OB1	OB5	OB2
<b>E33</b>	OB5	OB1, OB5	NS	NS	NS	OB5	C	OB3	NS

Analisando as repostas dadas pelos estudantes, verificamos a incidência de vários obstáculos epistemológicos. Com base nisso, agrupamos as ideias semelhantes e criamos as categorias de análise com base nos obstáculos encontrados.

Nas respostas dadas na questão 1, o obstáculo epistemológico que ficou mais evidente foi o da experiência primeira (OB1) com respostas como “*Todo e qualquer “barulho” emitido por objetos*” (E06) e “*Tudo o que a gente escuta*” (E24). Nestas respostas enfatizou-se muito a sensação que se tem com a recepção do som, ao invés de tentar descrever sua definição.

Outro obstáculo sugerido nas respostas dos estudantes, porém com bem menos frequência, foi o obstáculo substancialista (OB5), ficando evidente em respostas como “*Som é quando algo vibra em alta escala provocando o som*” (E21).

Na segunda pergunta, o obstáculo que nos pareceu mais evidente foi o substancialista. Um exemplo de resposta que evidencia esse obstáculo é “*É uma música*” (E17), sugerindo o conceito de onda sonora como algo que, para o estudante, é concreto e substancial, mas não suficiente para definir o conceito de onda sonora.

Para a terceira pergunta, os dois obstáculos que ficaram em evidência foram o obstáculo verbal (OB3) e o substancialista. Para o obstáculo verbal, destacamos respostas como “*É um exame*” (E16, E17, E18, E19 e E20). Esta resposta sinaliza uma concepção empirista formada pela observação do cotidiano.

Pelo fato de ouvirem por várias vezes o termo Ressonância Magnética referente a um exame médico, os estudantes associaram fortemente o conceito com essa utilização específica, mostrando que esse termo interferiu diretamente na construção da definição do conceito de Ressonância, configurando-se em um caso de obstáculo verbal.

Para o obstáculo substancialista, obtivemos respostas como “*A força que as ondas sonoras têm*” (E13). Esse tipo de resposta sugere a consideração apenas de características externas ao conceito, não o definindo de forma coerente com a científica.

Na quarta pergunta obtivemos novamente a evidencia dos obstáculos verbal e substancialista, porém com ênfase maior no segundo. Exemplo disso é a resposta “*Um ímã com pedaço de metal se atraem por conta do magnetismo do ímã*” (E14), sugerindo um obstáculo verbal originado no termo Ressonância Magnética, e um obstáculo substancialista, ao dar a ideia de fenômeno definido externamente ao conceito.

Nas questões Q3 e Q4, tivemos uma média de 20 dos 33 estudantes participantes declarando que não sabiam a resposta da pergunta proposta. Isso pode evidenciar a dificuldade que possuem em compreender o tema Ressonância e o quão distante a definição desse conceito está para eles, apesar de se depararem com esse fenômeno constantemente.

Da análise das respostas dadas à quinta questão, o obstáculo que se mostrou mais evidente foi o substancialista, externado em respostas como “*Pois o som precisa de espaço para se propagar*” (E02) e “*Sim, o acúmulo de secreção atrapalha o caminho do som*” (E32).

Para a sexta questão, o obstáculo substancialista mais uma vez se evidenciou. Exemplo disso são respostas como “*Porque não tem força para aguentar nada que seja frágil*” (E03) e “*Porque é de vidro*” (E29).

Esse padrão se repetiu nas respostas dadas às questões sete e oito com frases como “*Para o som sair porque senão se não de maneira nenhuma sairá som*” (E13) e “*Para que o som de um alcance possa sair de dentro para fora*” (E26) para a questão sete, e “*Com ondas de calor*” (E09) e “*Pelas ondas sonoras quentes*” (E15) para a

questão oito.

### 3.4. Um Perfil Epistemológico para Ressonância

Optamos por apresentar o perfil epistemológico de apenas um estudante, pois, ao avaliarmos as respostas dadas ao questionário, verificamos que elas indicavam certo padrão de repetição. Também levamos em conta o fato de 20 dos 33 respondentes relatarem não ter qualquer conhecimento sobre o conceito de Ressonância, apesar de externarem algum tipo de explicação para os fenômenos que envolvem esse fenômeno, e outros ainda responderam apenas parcialmente ao questionário.

Por fim, não nos seria viável para este artigo a apresentação dos perfis epistemológicos de cada um dos 33 estudantes investigados. Neste sentido, a escolha do estudante se deu pelo critério de comprometimento demonstrado no ato de elaboração das respostas dadas ao questionário, nos possibilitando ter uma visão mais delimitada e clara de seu perfil epistemológico. A seguir, descreveremos as respostas dadas por ele a cada uma das perguntas do questionário.

#### 3.4.1. As respostas dadas pelo estudante

Resposta dada à pergunta:

- 1: *Tudo o que faz barulho, ruído, e transmite algum tipo de som.*
- 2: *É o barulho do som que pode chegar a ouvir a distâncias, qualquer tipo de som.*
- 3: *É a força que as ondas sonoras têm.*
- 4: *Na buzina de carro, pessoas conversando, palmas, quando conversamos, no dia a dia ouvimos e fazemos tudo quanto é tipo de som.*
- 5: *Porque inflama as cordas vocais e isso faz com que o som da voz mude.*
- 6: *Por causa das ondas sonoras que têm uma certa força e acaba quebrando a taça.*
- 7: *Para o som sair porque se não, de maneira nenhuma sairá som.*
- 8: *Com a energia por que se não eu acho que ele nem ligava.*

Com base nas respostas dadas, descreveremos o perfil epistemológico externado pelo estudante.

### 3.4.2. Espectro do Perfil Epistemológico

Bachelard afirma que devemos conceber a ideia de perfil epistemológico somente para um indivíduo, como já referendado anteriormente. Com base nisso e na análise dos dados coletados, descreveremos o espectro do perfil epistemológico externado pelo estudante sobre Ressonância e discutiremos as diferentes filosofias que o embasam.

Fig. 4 – Perfil epistemológico externado pelo estudante sobre Ressonância.



A primeira filosofia que encontramos nas respostas do estudante foi o realismo ingênuo, quando externa que a Ressonância é a força que as ondas sonoras têm, sugerindo a ideia de que ressonância é força, mostrando um obstáculo epistemológico da experiência primeira, onde o impacto visual de uma taça quebrando chama mais a atenção do que o fenômeno que o quebra.

A segunda filosofia sugerida foi a do empirismo clássico e positivista, ao descrever as aplicações de Ressonância apenas com fatos experimentados pelos sentidos. Essa concepção é sugerida em falas como “*Na buzina de carro, pessoas conversando, palmas, quando conversamos, no dia a dia ouvimos e fazemos tudo quanto é tipo de som*”, mostrando uma percepção sensorial e pouco estruturada. Essa ideia se repete nas respostas das perguntas seguintes, indicando que, apesar de não ser a única filosofia identificada, é a mais evidente.

Era esperado que essa concepção fosse a mais evidente, pois além de o conteúdo de Ressonância ainda não ter sido apresentado ao estudante de maneira sistematizada e formal, mesmo quando o é, depois e algum tempo, os estudantes tendem a manter uma explicação empirista, pois é onde se concentra sua experiência

mais intensa e significativa.

Na resposta dada à questão seis, o estudante utiliza o termo ondas sonoras para explicar a quebra da taça. Isso nos dá indícios de que ele conseguiu perceber que são as vibrações das ondas sonoras que levam o vidro da taça a se romper, mostrando um modelo explicativo baseado em um racionalismo clássico oriundo da mecânica Racional.

Porém, também se pode notar a ausência de descrição da contribuição da vibração das partículas do vidro para que a taça se quebre. Isso pode ser devido ao fato de que, em muitos casos, quando esse fenômeno é descrito, se faz o relato apenas da vibração das ondas sonoras, como se elas fossem as únicas responsáveis pela quebra da taça, desconsiderando a vibração do vidro. Neste caso, o termo ondas sonoras se configura em um obstáculo verbal, dificultando a compreensão real do fenômeno observado.

Por fim, não foi possível identificar ideias mais elaboradas que tivessem como base o Racionalismo Completo ou Discursivo. Esse fato também era esperado pelo fato de o estudante investigado ainda não ter participado de aulas sistematizadas sobre Ressonância.

#### **4 CONCLUSÃO**

Neste trabalho buscou-se fazer um levantamento dos obstáculos epistemológicos existentes no cognitivo de estudantes sobre o conceito de Ressonância e uma descrição de um possível perfil epistemológico externado por um dos estudantes pesquisados. Foi aplicado um questionário com questões diagnósticas sobre Ressonância para 33 estudantes do Ensino Médio de uma escola pública de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. A análise das respostas dadas sugere que obstáculos epistemológicos mais evidentes no cognitivo dos estudantes sejam os obstáculos verbais e substancialistas.

O obstáculo verbal ficou evidente em respostas como “*É um exame*” (E16, E17, E18, E19 e E20) e “*Ressonância magnética é um negócio de ver o corpo*” (E03). Estas respostas sinalizam uma concepção empirista formada pela observação do cotidiano. Pelo fato de ouvirem por várias vezes o termo Ressonância Magnética

referente a um exame médico, os estudantes associaram fortemente o conceito com essa utilização específica, mostrando que esse termo interferiu diretamente na construção da definição do conceito de Ressonância, configurando-se em um caso de obstáculo verbal.

Para o obstáculo substancialista, obtivemos respostas como “*A força que as ondas sonoras têm*” (E13), “*Para o som sair porque senão de maneira nenhuma sairá som*” (E13) e “*Pelas ondas sonoras quentes*” (E15), sugerindo a consideração apenas de características externas ao conceito, não o definindo de forma coerente com a científica, característica encontrada na análise de várias respostas.

Um resultado que nos surpreendeu é a pouca ocorrência de respostas que sugerem o obstáculo epistemológico da experiência primeira e o animista. Apesar de serem constatados em algumas respostas dadas à questão número 1, sobre som, não encontramos suas ocorrências nas respostas dadas à questão número 3 e 4, sobre Ressonância. Ao invés disso, percebemos um grande número de estudantes relatando o desconhecimento do conceito.

Acreditamos que esse fato se deu, pois apesar de observarem o fenômeno de Ressonância ocorrendo em todo o tempo em cavidades nasais de Ressonância, caixas acústicas de violões e aparelhos de micro-ondas, o único lugar onde o termo Ressonância é utilizado, é no exame clínico conhecido como Ressonância Magnética, dando aos estudantes uma visão distorcida e limitada do conceito.

Com relação ao perfil epistemológico, concluímos que o estudante investigado sugere nas respostas dadas ao questionário, um espectro baseado em sua experiência cotidiana e sensorial e evidencia uma concepção baseada na filosofia empirista e positivista, tendo como principal obstáculo epistemológico a experiência primeira.

Também foram percebidas concepções baseadas na filosofia realista ingênua e racionalista clássica, sendo esta última em menor intensidade e acompanhada pelo obstáculo epistemológico verbal externado pela expressão ‘ondas sonoras’.

Diante disso, verificamos a necessidade de se construir uma sequência didática que desestruture estes obstáculos epistemológicos e promova uma ampliação no espectro do perfil conceitual externado pelo estudante para o conceito de

Ressonância, e é neste sentido que concentraremos nossas próximas pesquisas.

Um bom ponto de partida para a superação desse obstáculo seria o estudo da etimologia da palavra Ressonância, mostrando seu amplo significado e diferentes possibilidades de utilização, desvinculando sua definição de uma simples aplicação em uma área específica. Utilizaremos esta abordagem como possível ponto de partida para pesquisas futuras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
2. BACHELARD, G. *A filosofia do não; O novo espírito científico; A poética do espaço*. São Paulo: Abril Cultural, 1978.
3. \_\_\_\_\_. *O racionalismo aplicado*. Rio de Janeiro: Zahar, 1986.
4. \_\_\_\_\_. *A poética do devaneio*. São Paulo: Martins Fontes, 1988.
5. \_\_\_\_\_. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
6. \_\_\_\_\_. *A epistemologia*. Tradução de Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira. Lisboa, Portugal: Edições 70, 2006.
7. BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Lisboa, Portugal; Edições 70, LDA, 2009.
8. LUDKE, M. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.
9. ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Trad. Ernani F. da Rosa – Porto Alegre: ArtMed, 1998.

## APÊNDICE 3 – ARTIGO II

### RESSONÂNCIA EM TUBOS DE GARRAFAS “PET”: UMA OPÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA TUBOS DE KUNDT

*Resonance in “Pet” bottle tubes: A low cost option for Kundt tubes*

**Claudia Santos do Nascimento Vilas Bôas** [claudiasnvilasboas@gmail.com]

**Moacir Pereira de Souza Filho** [moacirpsf@gmail.com]

*Universidade Federal de Mato Grosso do Sul*

*Av. Costa e Silva - Pioneiros, Campo Grande - MS, 79070-900*

#### **Resumo**

Neste artigo trouxemos três objetivos descritos por Delizoicov e Angotti para uma aula experimental (configurar conhecimentos prévios, gerar conflitos e problematizar) juntamente com uma proposta de atividade que, mediante a realização de alguns ajustes identificados como necessários, será capaz de atender aos três objetivos propostos e promover a aprendizagem do conceito de ressonância. Esta atividade utiliza um tubo de garrafa pet como opção de baixo custo para a observação do fenômeno de ressonância em um tubo de Kundt. Com a aplicação desta atividade ficou evidente que a aula experimental dá ao aluno uma motivação muito maior que a aula meramente expositiva, sendo a aula experimental capaz de sensibilizar o aluno à aprendizagem mediante a vivência do conceito a ser apreendido.

**Palavras-chave:** Aula experimental; Aprendizagem; Ressonância.



### Abstract

In this article we have covered three objectives described by Delizoicov and Angotti for an experimental class (configure prior knowledge, generate conflicts and problematize) along with a proposal of activity that, through some adjustments identified as necessary, will be able to comply with the three objectives proposed and promote acquisition of the resonance concept. This activity uses a PET bottle tube as a low cost alternative for the observation of the resonance phenomenon in a Kundt tube. By applying this activity, it was evident that the experimental class provides the student a greater motivation than the merely expositive class, and the experimental class can stimulate the student to learning through the experience of the concept to be seized.

**Keywords:** Experimental class; Learning; Resonance.

A experimentação tem sua importância atribuída no ensino há algumas décadas. Segundo Galiazzi (2000), esta estratégia de ensino foi inserida pela primeira vez na escola em 1865, no *Royal College Chemistry*, na Inglaterra, influenciada pelas atividades experimentais desenvolvidas nas universidades. Contudo o ápice da valorização desta atividade ocorreu na década de 60, período em que foram iniciados alguns projetos de ensino, principalmente nos Estados Unidos, divulgando a experimentação com o intuito de que parte dos estudantes seguisse carreiras científicas (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004).

Nas últimas décadas, a experimentação no ensino de ciências vem sendo intensamente debatida entre pesquisadores da área de educação em ciências e geralmente apontada como um importante recurso no desenvolvimento de saberes conceituais, procedimentais e atitudinais (GALIAZZI, 2001).

Alguns estudos reportados na literatura ressaltam também o frequente interesse dos alunos por atividades dessa natureza, bem como relatos de professores sobre

relevância da prática experimental na escola como instrumento para a aprendizagem de ciências (LABURÚ, 2005; FRANCISCO Jr., 2008).

De acordo com Araújo e Abib:

O uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de aprender e de ensinar Física, de modo significativo e consistente (ARAÚJO e ABIB, 2003, p. 176).

Porém, em muitos casos, os profissionais da educação têm utilizado esse recurso de maneira equivocada por não compreenderem o real sentido da realização de aulas experimentais no ambiente escolar. Isso é reforçado nos materiais de apoio e livros didáticos utilizados pelos professores, onde são propostas aulas experimentais tradicionais e muitas vezes meramente expositivas. Ainda segundo Araújo e Abib:

Apesar da pesquisa sobre essa temática revelar diferentes tendências e modalidades para o uso da experimentação, essa diversidade, ainda pouco analisada e discutida, não se explicita nos materiais de apoio aos professores. Ao contrário do desejável, a maioria dos manuais de apoio ou livros didáticos disponíveis para auxílio do trabalho dos professores consiste ainda de orientações do tipo “livro de receitas”, associadas fortemente a uma abordagem tradicional de ensino. (ARAÚJO; ABIB, 2003, p.177)

O fato de os materiais de apoio proporem aulas tradicionais e centradas no professor leva à execução de aulas meramente demonstrativas e tradicionais onde o aluno passivo “assiste” de forma contemplativa e inacessível à exposição de um fenômeno que não lhe é permitido sequer tocar, com grande ênfase em fórmulas e comprovações de teorias.

### **1. Três objetivos para uma aula experimental**

Uma aula experimental pode ser bem mais que comprovações de teorias. A experimentação tem se apresentado como uma ferramenta capaz de contextualizar e trazer a Ciência para perto do aluno, articulando a teoria e a prática. Com isso, a aula experimental poderá atingir seu maior objetivo que é contribuir com o ensino e a aprendizagem. Segundo Delizoicov e Angotti (1991):

A todo e qualquer momento do diálogo didático da sala de aula, a atividade experimental poderá ser solicitada para configurar os conhecimentos prévios dos estudantes, para gerar conflitos de interpretação acerca de uma dada situação ou ainda como decorrência de uma problematização inicial (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1991).

Se atingir apenas estes três objetivos, a aula experimental já poderá ser considerada uma ferramenta de grande valia para o ensino.

### **1.1. Configurar conhecimentos prévios**

Sobre o primeiro objetivo, o de configurar os conhecimentos prévios dos estudantes, Ausubel et al.(1978) afirma que:

Se tivermos que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria que o fator isolado mais importante, influenciando a aprendizagem, é aquilo que o aprendiz já sabe. Determine isso, e ensine-o de acordo (AUSUBEL et al., 1978, p. iv).

A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel tem como objetivo descrever como ocorre o aprendizado, ou seja, como a mente retém os conteúdos curriculares ministrados em sala de aula, ou em outros ambientes. Ela é significativa quando uma nova informação adquire significado para o aluno através de uma espécie de "ancoragem" em conhecimentos relevantes preexistentes em sua estrutura cognitiva os quais Ausubel chama de "subsunçores".

Se o aprendiz não possui esses conceitos faz-se necessário o uso de organizadores prévios que, segundo Moreira e Masini (2001, p.21) são materiais introdutórios apresentados antes do próprio material a ser aprendido. Neste contexto a aula experimental se mostra como excelente recurso a ser utilizado na investigação dos conhecimentos prévios evidenciados pelos estudantes (subsunçores), bem como na estruturação de organizadores prévios que possibilitem uma ancoragem efetiva de novos conceitos de modo a promover a aprendizagem significativa.

## 1.2. Gerar conflitos

Em relação ao segundo objetivo elencado por Delizoicov e Angotti para a aula experimental, que consiste em gerar conflitos de interpretação acerca de uma dada situação, o epistemólogo Gaston Bachelard (1884-1962) afirma que existem obstáculos epistemológicos entranhados no cognitivo que não são superados apenas com a repetição de uma demonstração experimental.

Os adolescentes chegam às nossas salas de aula com concepções e modelos empíricos que nem sempre coincidem com o científico. É necessário desestruturar estes conceitos que servem de obstáculos para a aprendizagem para inserir-lhes em uma nova cultura experimental.

Segundo ele, os obstáculos epistemológicos são conceitos que se colocam como empecilhos para a aprendizagem. Podem ser conhecimentos empíricos apreendidos no cotidiano ou mesmo adquiridos na escola. Eles são inerentes do processo de aquisição de conhecimento e constituem-se como ponte entre o senso comum e o conhecimento científico, estabelecendo uma ideia de continuidade e dificultando a ruptura de pensamento científico, necessária para o seu avanço.

Todo esse movimento cognitivo demanda esforço. Nas aulas tradicionais, a maioria dos estudantes não se sente encorajada a mobilizar seu cognitivo de modo a romper com o senso comum e superar os obstáculos epistemológicos. Sobre isso Bachelard (1996) afirma que:

É tão agradável para a preguiça intelectual limitar-se ao empirismo, chamar um fato de fato e proibir a busca de leis! Ainda hoje os maus alunos de física "compreendem" as fórmulas empíricas. Acham que todas as fórmulas, inclusive as que decorrem de uma teoria bem organizada, são empíricas. Pensam que a fórmula não passa de um conjunto de números disponíveis, que basta aplicar a cada caso particular (BACHERLARD, 1996, p. 37).

Neste sentido as aulas experimentais têm muito a contribuir por possibilitarem o rompimento dessa inércia cognitiva e confrontarem a mera aceitação de fórmulas. Elas possibilitam um olhar crítico e investigativo para a compreensão de fenômenos que jamais poderão ser reduzidos às fórmulas matemáticas.

### **1.3. Problematizar**

O terceiro objetivo elencado por Delizoicov e Angotti para a aula experimental, que consiste no conceito de problematização, foi discutido por Berbel (1995) quando afirma que a solução de problemas pode ser vista como:

Uma forma de participação ativa e de diálogo constante entre alunos e professores para se atingir o conhecimento. Não um problema qualquer, ou imaginado pelo professor para estimular o potencial intelectual do aluno, mas problemas reais, percebidos pela observação direta da realidade em foco. (BERBEL, 1995, p.11).

Formular e resolver problemas são processos inerentes a construção do conhecimento científico. Segundo Bachelard (1996) os problemas são o gênesis desta forma de conhecimento. Leis, teorias e modelos científicos fazem sentido apenas dado os problemas que os originaram e que buscam responder. Sistemas de explicações que não estão pautados em questões bem definidas são considerados conhecimentos pré-científicos por Bachelard (1996).

Segundo ele não é qualquer situação que pode ser considerada um problema. Devem ser situações intencionais de busca por um conhecimento, tendo como pano de fundo uma questão do cotidiano, nisso encontra-se o espírito científico. Mais importante que buscar respostas certas, é fazer perguntas certas.

Diante disso, entendemos que uma aula experimental, se bem elaborada, pode auxiliar o professor a: identificar possíveis conceitos incoerentes com os conceitos científicos, externados pelos estudantes; promover organizadores prévios que virão de encontro aos obstáculos epistemológicos que oferecem resistência à aprendizagem significativa; e propor situações problema que desafiem e estimulem o estudante a mobilizar sua estrutura cognitiva para a compreensão do meio que o cerca.

## **2. Um exemplo de aula experimental**

Este artigo traz um exemplo de aula experimental que acreditamos atender aos objetivos descritos por Delizoicov e Angotti. O tema proposto para a aula foi o de ressonância. A escolha do tema se deu pela constatação de obstáculos epistemológicos

externados pelos alunos na aprendizagem do conceito de ressonância e pela importância da contextualização deste conceito em situações do cotidiano, como a amplificação que ocorre nas cavidades de ressonância do som produzido pelas pregas vocais localizadas na laringe (VILAS BÔAS e SOUZA FILHO, 2018).

Para tanto, alguns princípios de ondulatória e acústica devem ser destacados visando auxiliar a compreensão e a aplicabilidade da atividade descrita. Descreveremos a seguir alguns conceitos de ondulatória como interferência, tubos sonoros, harmônicos e ressonância.

## **2.1. Conceitos de ondulatória**

De acordo com a teoria ondulatória proposta e aceita pela comunidade científica atual, o som deve ser tratado como uma onda. Definimos como onda uma perturbação que se propaga transportando energia, sem envolver transporte de matéria. Ela pode ser classificada em relação a sua natureza de vibração, direção de vibração, e grau de liberdade para a propagação.

Quanto à natureza de vibração, as ondas podem ser mecânicas ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar. Ex.: Som, terremotos. Porém, as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio para se propagar e possuem velocidade igual a  $3,0 \cdot 10^8 \text{m/s}$  no vácuo. Ex.: Raio X, Ondas de rádio, microondas, luz visível, etc .

Em relação à direção de vibração, as ondas podem ser classificadas como transversais ou longitudinais. As ondas transversais são aquelas cuja direção de vibração é perpendicular a propagação da onda. Já as ondas ditas longitudinais, possuem a mesma direção de vibração da propagação da onda. Ex.: O Som.

De acordo com o grau de liberdade para a propagação, as ondas podem se propagar em uma, duas ou três dimensões. Quando uma onda se propaga apenas em uma dimensão ela é classificada, quanto ao grau de liberdade de propagação, como unidimensional. Quando uma onda se propaga em duas dimensões, ela é classificada como bidimensional. Quando uma onda se propaga em três dimensões, ela é classificada como tridimensional. Este é o caso das ondas sonoras.

Uma onda correspondente a uma perturbação simples é denominada pulso. Uma sucessão regular de pulsos iguais produz uma onda periódica. As principais características de uma onda periódica são Período, Frequência, Amplitude e Comprimento de onda. O Período ( $T$ ) é o tempo de uma oscilação completa de qualquer ponto da onda; a Frequência ( $f$ ) é o número de vibrações em um ponto da corda por unidade de tempo; Amplitude ( $A$ ) é o maior valor de elongação da onda e o Comprimento de onda ( $\lambda$ ) é a menor distância entre dois pontos que tem sempre mesmo sentido de movimento.

Assim, definimos o som como uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional (HALLIDAY; RESNICK e WALKER, 2009). Sua velocidade ( $v$ ) pode ser definida como sendo o produto do seu comprimento de onda ( $\lambda$ ), que consiste na menor distância entre dois pontos equivalente na representação de uma onda, e a frequência de oscilação da onda ( $f$ ), que é definida como a razão entre o número de oscilações feitas por uma dada unidade de tempo. Assim temos que  $v = \lambda \cdot f$ .

A superposição de duas ou mais ondas geram um padrão de interferência que pode ser construtiva, onde a amplitude da onda resultante é a soma das amplitudes das ondas sobrepostas; ou destrutiva, onde a amplitude da onda resultante é a subtração das ondas sobrepostas.

Em um tubo sonoro, as perturbações provocadas no ar (ondas de deslocamento) por uma fonte de onda sonora (onda de pressão) se propagam formando uma onda estacionária onde há regiões de interferência construtiva e regiões de interferência destrutiva.

Estes tubos sonoros podem ter as duas extremidades abertas, sendo chamados de tubos abertos, ou uma da extremidade aberta e outra fechada, sendo chamados de tubos fechados. A Figura 1 ilustra a propagação de ondas sonoras em um tubo aberto.

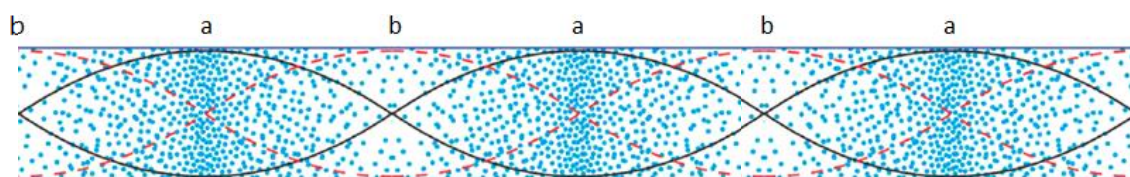


Figura 1. Desenho esquemático da propagação de uma onda sonora em um tubo aberto contendo ar.

Sendo (a) as regiões de compressão e (b) as rarefações das partículas de ar.

Estão representadas na Figura 1 algumas regiões de compressão (a) e rarefação (b) do ar. Os pontos azuis representam a densidade das partículas de ar em cada região. A linha vermelha pontilhada representa a amplitude do deslocamento das moléculas de ar no interior do tubo e a linha preta contínua representa a amplitude da pressão exercida pelas moléculas de ar em cada região.

Na Figura 1, os pontos de maior pressão, onde há compressão do ar (a), estão relacionados com os maiores volumes (maior intensidade sonora) produzidos no tubo sonoro. Já os pontos de menor pressão, onde há rarefação do ar (b), estão relacionados com os menores volumes produzidos no tubo sonoro.

A Figura 2 mostra os três primeiros harmônicos que podem ser produzidos em um tubo sonoro aberto. Nas extremidades abertas sempre teremos regiões de rarefação do ar, ou seja, de menor volume. Cada modo de vibração das ondas sonoras é chamado de harmônico. O primeiro modo de vibração é chamado de primeiro harmônico ou harmônico fundamental ( $n = 1$ ). Todos os outros harmônicos são múltiplos inteiros ( $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ ) do harmônico fundamental.

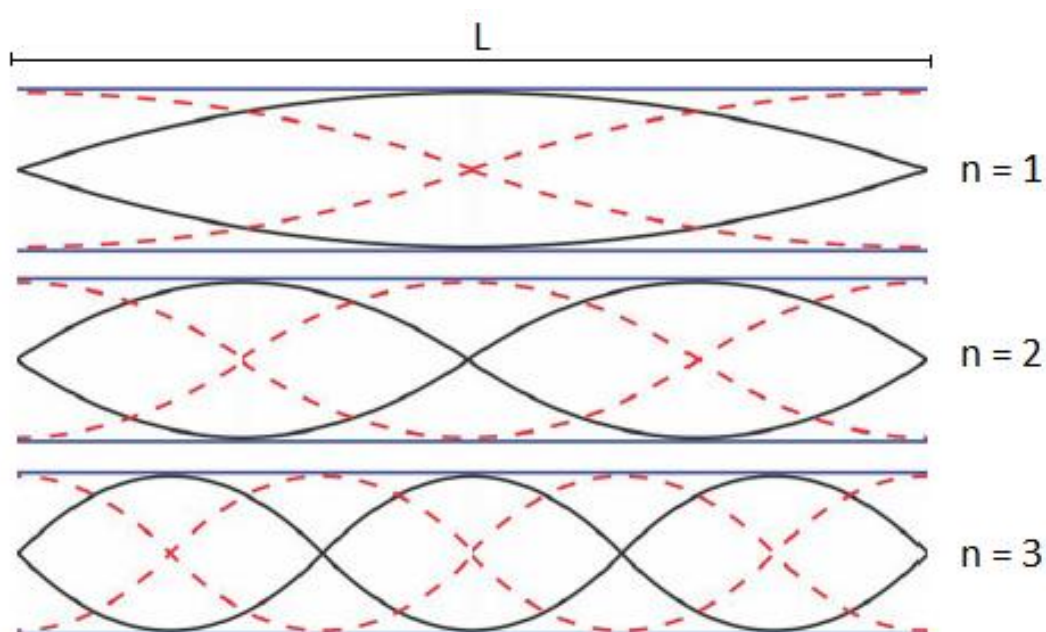


Figura 2. Harmônicos em tubos abertos. A linha vermelha pontilhada representa a amplitude do deslocamento das moléculas de ar no interior do tubo e a linha preta contínua representa a amplitude da pressão exercida pelas moléculas de ar em cada região do tubo.

Com a observação desses pontos de volume máximo e mínimo podemos estimar o comprimento de onda da onda sonora propagada dentro do tubo. O comprimento do



tubo ( $L$ ) se relaciona com o comprimento de onda ( $\lambda$ ) sendo múltiplos inteiros ( $n$ ) da metade do comprimento de onda produzido. Assim temos que  $L = n \cdot \lambda/2$ , onde este  $n$  corresponde aos possíveis harmônicos de uma onda sonora dentro de um tubo aberto.

A Figura 3 ilustra a propagação de ondas sonoras em um tubo fechado.

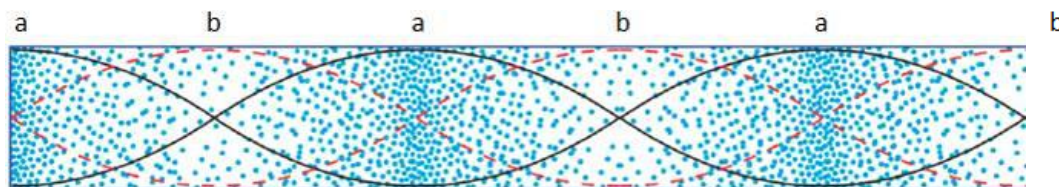


Figura 3. Desenho esquemático da propagação de uma onda sonora em um tubo fechado contendo ar. Sendo (a) as regiões de compressão e (b) as rarefações das partículas de ar.

Assim como no tubo aberto, no tubo fechado também temos as regiões de compressão e rarefação. A Figura 4 mostra os três primeiros harmônicos que podem ser produzidos em um tubo sonoro fechado. Nas extremidades abertas sempre teremos regiões de rarefação do ar, ou seja, de menor volume. Cada modo de vibração das ondas sonoras é chamado de harmônico. O primeiro modo de vibração é chamado de primeiro harmônico ou harmônico fundamental ( $n = 1$ ). Todos os outros harmônicos são múltiplos inteiros ( $n = 1, 3, 5 \dots$ ) do harmônico fundamental.

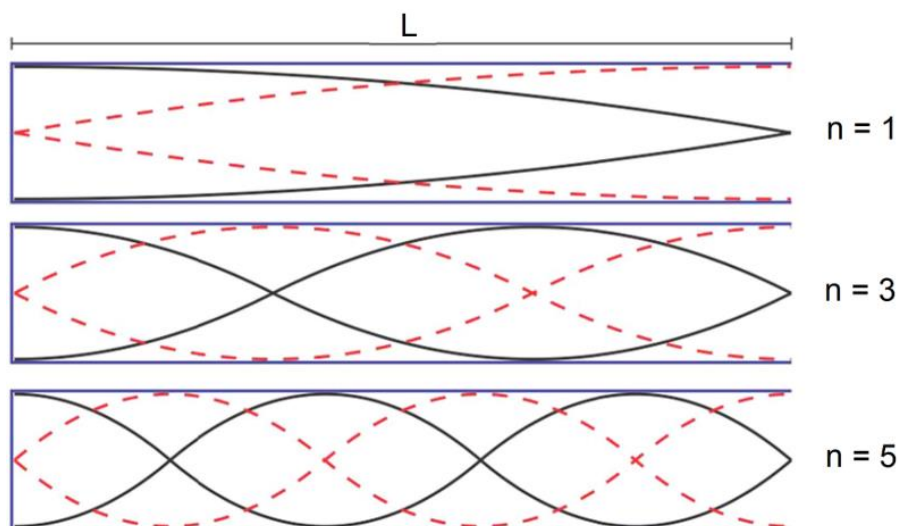


Figura 4. Harmônicos em tubos fechados. A linha vermelha pontilhada representa a amplitude do deslocamento das moléculas de ar no interior do tubo e a linha preta contínua representa a amplitude da pressão exercida pelas moléculas de ar em cada região do tubo.

Situação análoga à descrita na Figura 4, ocorre em sistemas como flautas, saxofones, canos e até nossa laringe, que é um tubo sonoro, amplificando o som produzido nas pregas vocais e que se propaga nas cavidades nasais. Quando ondas de mesma frequência se somam de modo a aumentar sua amplitude de vibração, damos a este fenômeno o nome de Ressonância.

Com base nestes conceitos, descreveremos a construção de um dispositivo que será utilizado na aula experimental descrita neste artigo.

## **2.2. A construção do dispositivo**

Originalmente, os experimentos com tubos sonoros são realizados com tubos de vidro ou de acrílico, porém, o custo destes tubos inviabiliza a replicabilidade do experimento em localidades com poucos recursos, o que representa a realidade da maioria das unidades escolares em nosso país. Por conta disso optamos por utilizar materiais de baixo custo e de fácil acesso.

O dispositivo utilizado em nossa aula experimental consiste em um tubo sonoro, feito de garrafas pet lisas, com o comprimento variável por um êmbolo interno, feito de papelão e madeira, e uma fonte sonora posicionada na base do tubo para a qual foi utilizado um aparelho celular com um gerador de frequência instalado.

Na construção do tubo foram utilizadas duas garrafas pet retas e transparentes de dois litros cada. É importante que as garrafas sejam lisas e retas, pois isso viabiliza a movimentação do êmbolo em seu interior. As garrafas foram cortadas e fixadas uma a outra com fita adesiva larga transparente, aplicadas na parte externa e interna para facilitar a passagem do êmbolo. Ver Figura 5.



Figura 5. Garrafas pet cortadas para confecção de tubos sonoros.

Para a construção do êmbolo foi utilizado uma vareta de bambu de 60 cm e dois círculos de diâmetro similar ao da garrafa pet, aproximadamente 10 cm, sendo um de papelão e outro de embalagem longa vida, colados adequadamente. É necessário que o diâmetro do êmbolo seja bem ajustado

O círculo de papelão foi utilizado para proporcionar maior firmeza ao êmbolo, e o círculo feito com embalagem longa vida foi utilizado para proporcionar uma melhor reflexão das ondas sonoras. Outra opção é a utilização de círculos metálicos.

A vareta de bambu foi fixada no centro do círculo de papelão e o círculo de embalagem longa vida foi fixado no círculo de papelão. Por fim, foi aplicada uma fita adesiva transparente na lateral dos círculos para facilitar o movimento no interior do tubo, concluindo-se assim a confecção do êmbolo. Ver Figura 6.



Figura 6. a) Círculo de papelão

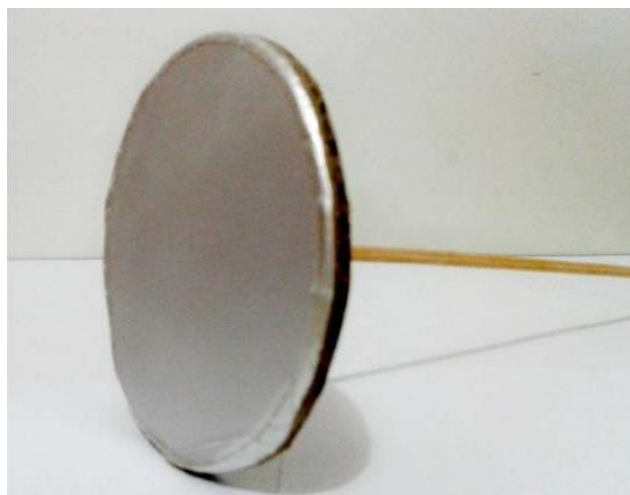


Figura 6. b) Círculo de embalagem longa vida

O êmbolo foi posicionado no interior do tubo de garrafa pet. A movimentação do êmbolo dentro do tubo possibilita a variação no comprimento do tubo sonoro e a análise do comportamento do som em seus diferentes modos de vibração bem como a relação entre a variação dos comprimentos do tubo e seus harmônicos produzidos.

A frequência definida para análise foi de 1760Hz por possibilitar a visualização de uma quantidade maior de pontos de volume máximo e mínimo, identificados no tubo com o sinal positivo (+) e negativo (-), respectivamente, como ilustrado na Figura 7.

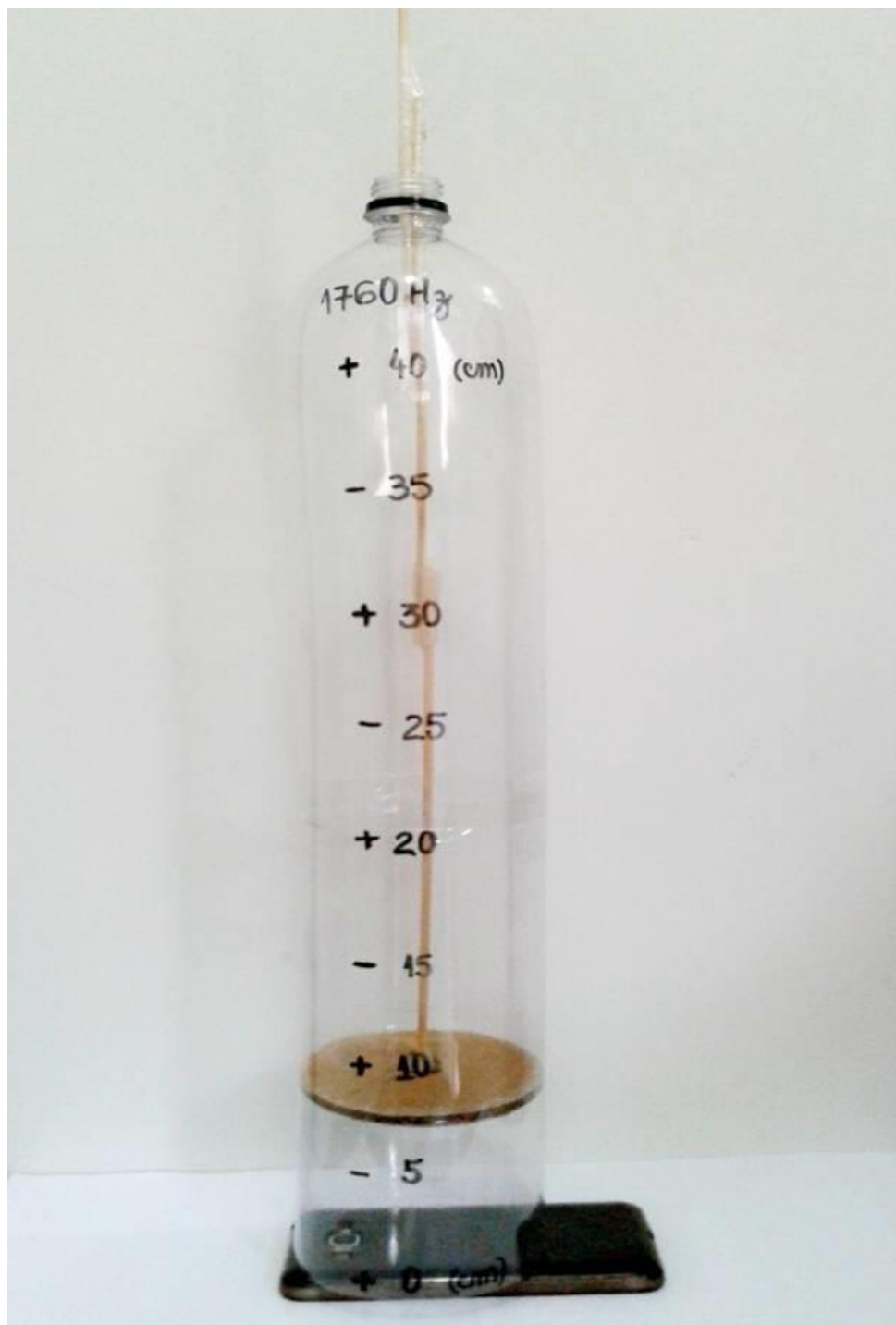


Figura 7. Dispositivo de tubo sonoro, constituído por um tubo de garrafa pet, um êmbolo de papelão e uma fonte sonora contida em um celular, posicionada na base do tubo.

A fonte sonora utilizada foi um celular. Para utilizarmos o celular como fonte sonora, foi necessário instalar um software gerador de frequências, disponível para download gratuito em <[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.boedec.hoel.frequencygenerator&hl=pt\\_BR](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.boedec.hoel.frequencygenerator&hl=pt_BR)>.

O software é de fácil utilização e possibilita a emissão de várias frequências. Também é possível utilizar outras fontes sonoras como computadores e caixas de som, ficando a cargo de cada professor a escolha da fonte que melhor se adéqua à sua realidade. Descreveremos a seguir a dinâmica de aplicação da atividade proposta.

### **2.3. A aplicação da atividade**

A atividade foi aplicada para três alunos voluntários do segundo ano do Ensino Médio durante 50 minutos fora do tempo de aula. Nosso objetivo neste momento foi validar a atividade e fazer possíveis ajustes para uma posterior aplicação para uma turma regular.

Para a realização da atividade os alunos receberam o tubo de garrafa pet sem as marcações dos pontos de volume máximo e mínimo. Receberam também o êmbolo, uma caneta de marcação permanente e uma régua. Foi solicitado que disponibilizassem um celular para a realização da atividade.

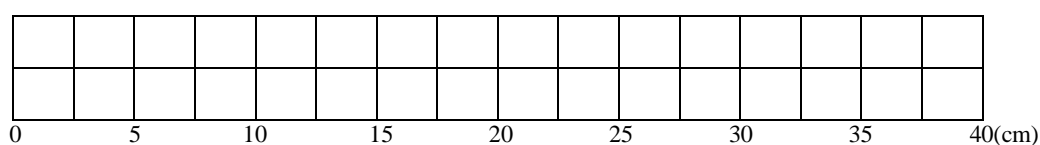
Na primeira parte da atividade os alunos responderam às seguintes questões: a) O que é ressonância? b) Quais as condições para ela acontecer? c) Como ondas sonoras se propagam em tubos sonoros? d) Quais as equações que relacionam o comprimento de onda com o comprimento de tubos sonoros fechados e abertos? e) Como podemos determinar a velocidade do som utilizando um experimento de tubo sonoro?

Apesar de os alunos já terem visto em sala de aula o conteúdo de tubos sonoros e ressonância, não conseguiram responder às perguntas feitas, respondendo apenas que não sabiam.

Assim, constatamos a ausência de subsunçores para a ancoragem do conceito de ressonância. Por conta disso utilizaremos essa atividade como organizador prévio para a aprendizagem significativa, sendo este o primeiro do objetivo proposto por Delizoicov e Angotti para uma aula experimental.

A segunda parte consistia na análise da onda sonora produzida pela fonte sonora no tubo. Para isso, os alunos foram orientados pelo roteiro a instalar um gerador de frequência em seu celular, ajustar a frequência emitida para 1760Hz, e posicioná-lo na base do tubo como já indicado na figura 3.

Os alunos foram orientados a movimentar o êmbolo por todo o comprimento do tubo e, utilizando uma caneta permanente, identificar no tubo com um sinal positivo (+) os pontos onde a intensidade do som é máxima e com um sinal negativo (-) os pontos onde a intensidade do som é mínima. Depois fizeram uma representação da onda produzida no tubo com o auxílio da grade representada a seguir.



Com base na representação feita, eles foram orientados a determinar o comprimento de onda da onda estacionária produzida dentro do tubo e a velocidade do som. Porém, os alunos relacionaram equivocadamente os pontos de mínimo volume do som com os pontos de vale da onda estacionária. Ver Figura 8.

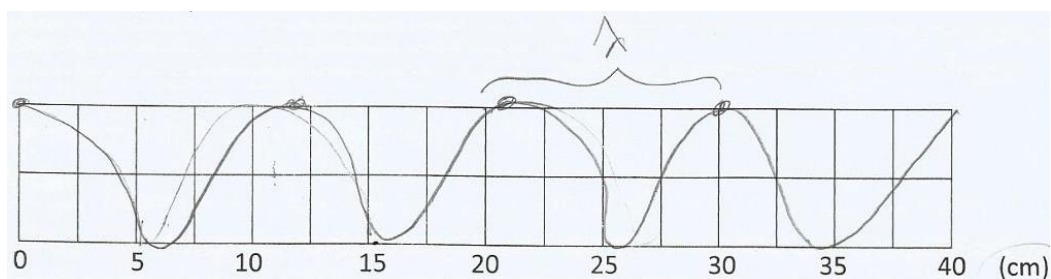


Figura 8. Representação das ondas estacionárias feita por estudante.

A relação equivocada entre volume mínimo e vale da onda estacionária acarretou em erro na determinação do comprimento de onda e da velocidade do som. Neste ponto, a atividade proposta não cumpriu o segundo objetivo proposto por Delizoicov e Angotti para aula experimental que consiste em gerar conflitos entre os conceitos incoerentes externados pelos estudantes e os conceitos científicos, visto que eles não corrigiram o erro e seguiram a atividade.

Este ponto será verificado para as próximas aplicações com a inserção de um tópico sobre representação dos pontos de amplitude máxima e mínima de uma onda e o que cada um deles representa, e com uma maior ênfase na discrepância entre os valores determinados e conhecidos para a velocidade do som no ar.

A terceira e última parte da atividade consistia na discussão dos resultados e das observações feitas. Foram dadas pela atividade as seguintes orientações aos alunos: a) Explique porque existem pontos dentro do tubo onde o volume do som é máximo e pontos onde o volume do som é mínimo. b) Descreva quais fenômenos ondulatórios ocorrem com a onda sonora dentro do tubo. c) Descreva pelo menos três situações onde poderíamos utilizar estes conceitos de tubos sonoros.

Apesar de terem representado os pontos de volume mínimo da onda sonora de maneira equivocada, os alunos tiveram facilidade em relacionar os pontos de interferência construtiva e destrutiva com os pontos de volume máximo e mínimo. Eles também tiveram facilidade em perceber uma relação entre a variação no comprimento do tubo e a oscilação no volume do som.

Ao descreverem os fenômenos ondulatórios ocorridos no interior do tubo, o professor teve que intervir lembrando a definição de ressonância, como sendo a interferência entre ondas de frequências iguais ou múltiplas, pois os alunos não se atentaram para o fato de que a interferência no tubo ocorrerá com ondas de frequências iguais, configurando assim um padrão de ressonância.

Na descrição das situações onde o conceito de tubos sonoros poderia ser utilizado, os alunos tiveram facilidade em elencar vários exemplos em que o som se propagava em tubos, inclusive aplicando esse conceito na descrição do comportamento do som na laringe, mostrando contextualização e interdisciplinaridade.

Isso nos remete à ideia de que o terceiro objetivo proposto por Delizoicov e Angotti, que consiste na problematização, foi satisfatoriamente atendido. Porém, para as próximas aplicações da atividade, ampliaremos ainda mais esta problematização de modo a utilizar o conceito de tubos sonoros na compreensão, descrição e explicação do funcionamento da laringe como um tubo sonoro e a relação entre o comprimento da laringe e seus diferentes harmônicos possíveis.



### 3. Conclusão

Neste artigo trouxemos três objetivos descritos por Delizoicov e Angotti para uma aula experimental (configurar conhecimentos prévios, gerar conflitos e problematizar) juntamente com uma proposta de atividade que, mediante a realização de alguns ajustes identificados como necessários, será capaz de atender aos três objetivos propostos e promover a aprendizagem do conceito de ressonância.

Por meio das questões formuladas para levantamento de conhecimentos prévios, embora os alunos tivessem visto o conteúdo de ressonância e até já tivessem resolvido exercícios a respeito, verificamos a ausência de subsunções. Assim, a atividade experimental funcionou como um organizador prévio que possibilitou aos alunos a compreensão alguns conceitos de forma significativa.

Com base na representação gráfica feita por um dos alunos participantes deste teste piloto, pudemos perceber a relação equivocada (conflitos) entre volume mínimo e vale da onda estacionária externada pelos alunos, o que acarretou em erro na determinação do comprimento de onda e da velocidade do som. Na aplicação final para a pesquisa, teremos que refletir sobre isso e inserir um tópico sobre representação dos pontos de amplitude máxima e mínima de uma onda.

Finalmente, na etapa da problematização, os resultados encontrados nos levaram a inferir que o objetivo proposto foi contemplado, uma vez que os alunos tiveram facilidade em elencar vários exemplos em que o som se propagava em tubos.

Com a aplicação desta atividade ficou evidente que a aula experimental dá ao aluno uma motivação muito maior que a aula meramente expositiva, sendo a aula experimental capaz de sensibilizar o aluno à aprendizagem mediante a vivência do conceito a ser apreendido.

Este modelo de aula experimental pode ser utilizado para a preparação de diferentes atividades abordando variados conceitos, pois trata-se de um excelente recurso didático para o ensino de ciências, com materiais de fácil aquisição e baixo custo, viabilizando assim sua aplicabilidade por qualquer profissional, mesmo com poucos recursos disponíveis.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S.. *Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades*. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, Junho. 2003.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. and HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. 2nd. ed. New York, Holt Rinehart and Winston, 1978.

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Tradução Esteia dos Santos Abreu - Rio de Janeiro : Contraponto, 1996.

BERBEL, N.A.N. *Metodologia da Problematização: uma alternativa metodológica apropriada para o Ensino Superior*. Semina: Cio Soc./Hum., Londrina, v.16. n. 2., Ed. Especial, p.9-19, out. 1995.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.. *Física*. São Paulo/BRA: Cortez, (Coleção Magistério 2º Grau). 1991.

FRANCISCO Jr., W. *Uma abordagem problematizadora para o ensino de interações intermoleculares e conceitos afins*. Química Nova na Escola, n.29, p.20-23, 2008.

GALIAZZI, M. C. *Seria tempo de repensar as atividades experimentais no ensino de Ciências?* Educação, 23 (40), 87-112, 2000.

GALIAZZI, M. C. et al. *Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências*. Ciência & Educação, v.7, n.2, p.249-263, 2001.

GALIAZZI, M. C.; GONÇALVES, F. P.. *A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química*. Química Nova. 27 (2) 326-331, 2004.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. *Fundamentos de Física: mecânica*. Volume 1. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

LABURÚ, C. E. *Seleção de experimentos de Física no Ensino Médio: uma investigação a partir da fala de professores*. Investigações em Ensino de Ciências, v.10, n.2, p.161-178, 2005.

MOREIRA, M. A., MASINI, E. F. S. *Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel*. São Paulo: Centauro, 2001.

VILAS BÔAS, C.S.N. e SOUZA FILHO, M.P.D. *Epistemologia de Bachelard e a Aprendizagem do Conceito de Ressonância*. Revista do Professor de Física. Brasília, vol. 2, n. 2. 2018.