

# Sequência Didática Investigativa Baseada nos três Momentos Pedagógicos de Delizoicov para a Determinação Experimental da Velocidade do Som no Ar

Investigative Didactic Sequence Based on Delizoicov's three Pedagogical Moments for the Experimental Determination of the Speed of Sound in Air

JOÃO PESSOA DE OLIVEIRA FILHO<sup>\*1</sup>, FRANCISCO NAIRON MONTEIRO JÚNIOR<sup>†2</sup>

<sup>1</sup>Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 58, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, CEP 52171-900

<sup>2</sup>Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, CEP 52171-900

---

## Resumo

*A pesquisa em ensino de física tem apontado fortemente para a importância do uso do experimento numa perspectiva investigativa e problematizadora, como ferramenta na formação de cidadãos cientificamente alfabetizados. Tais atividades, dentre outras, podem assumir diferentes papéis em situações de ensino, possibilitando, além da aprendizagem significativa, o protagonismo do estudante, a tomada de decisão, a análise reflexiva e a construção de conclusões. Alinhados com esta perspectiva emancipatória, desenvolvemos um produto educacional composto de uma sequência didática, baseada no diálogo entre os três momentos pedagógicos, a aprendizagem significativa e o ensino sob medida, voltada para o ensino teórico e experimental referente à velocidade do som e sua medição. A aplicação deste produto educacional mostrou-se bastante satisfatória, onde pudemos perceber motivação, protagonismo, ficando evidente o desejo dos estudantes que o ensino da física pudesse ser desta forma, o que nos mostra que a experiência vivenciada construiu neles um novo olhar em relação à física. Além disso, os resultados experimentais e os mapas conceituais por eles produzidos dão mostra de que houve aprendizagem.*

**Palavras-chave:** Velocidade do Som. Três Momentos Pedagógicos. Ensino Sob Medida.

---

## Abstract

\*Email: joaopessoarc@gmail.com

†Email: naironjr67@gmail.com

*Research in physics teaching has strongly pointed to the importance of using the experiment in an investigative and problematizing perspective, as a tool in the formation of scientifically literate citizens. Such activities, among others, can assume different roles in teaching situations, enabling, in addition to meaningful learning, student protagonism, decision-making, reflective analysis and the construction of conclusions. In line with this emancipatory perspective, we developed an educational product composed of a didactic sequence, based on the dialogue between the three pedagogical moments, meaningful learning and tailor-made teaching, focused on theoretical and experimental teaching regarding the speed of sound and its measurement. The application of this educational product proved to be quite satisfactory, where we could perceive motivation, protagonism, making it evident the desire of the students that the teaching of physics could be this way, which shows us that the lived experience built in them a new look in relation to the physical. In addition, the experimental results and the conceptual maps produced by them show that learning took place.*

**Keywords:** *Speed of Sound. Three Pedagogical Moments. Just-in-Time Teaching.*

---

## I. INTRODUÇÃO

A medição da velocidade do som foi um marco teórico e conceitual de grande importância no desenvolvimento da física acústica. Contudo, os textos didáticos de física e muitos colegas professores negligenciam a importância de tal marco histórico, bem como os esforços de importantes personagens da física na determinação de seu valor. Apesar de estar na base do estudo das ondas sonoras, compondo um dos primeiros tópicos dos livros de física que tratam desse tema, poucas propostas didáticas versam sobre ele, o que pode ser observado na revisão bibliográfica que realizamos. Tal revisão incluiu seis importantes periódicos de ensino de ciências, além dos anais do “Simpósio Nacional de Ensino de Física” (SNEF). O quadro 1 apresenta os resultados desta revisão. Das seis revistas analisadas, apenas três publicaram artigos sobre o tema. Justamente as revistas cujos escopos são mais voltados à publicação de ensaios, artigos e relatos de experiência direcionados para o ensino de física na educação básica. Mesmo nestas revistas, que possuem este perfil de valorização das experiências em sala de aula, ainda é incipiente a oferta de sequências didáticas voltadas para o estudo da velocidade do som, principalmente quando, além do tratamento teórico-experimental, avança na formação de uma visão histórica de como se desenrolou este episódio da história da física.

Como podemos ver no quadro 1, encontramos três artigos na revista “A Física na Escola”. No primeiro, intitulado “Medir a velocidade do som pode ser rápido e fácil” (CAVALCANTE, TAVOLARO, 2003), as autoras propõem a medição da velocidade do som com a utilização de um diapásão e um tubo, bem similar ao qual vamos desenvolver como organizador prévio. Noutro artigo, Grala e Oliveira (2005) propõem a medição da velocidade do som com a utilização de um tubo e um microfone instalado em seu interior e com a ajuda do *software GoldWave*. No terceiro artigo, Cavalcante, Peçanha e Leite (2011) apresentam um experimento simples e de fácil reprodução para a determinação da velocidade do som no ar por meio do eco. Tubos de diferentes comprimentos são utilizados e, para análise e coleta de dados, utilizaram um programa *freeware* de análise sonora.

| Periódico/Encontro                        | Número de artigo |
|---|------------------|
| A Física na Escola                        | 3                |
| Caderno Brasileiro de Ensino de Física    | 1                |
| Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências | Não encontrado   |
| Investigações em Ensino de Ciências       | Não encontrado   |
| Revista Brasileira de Ensino de Física    | 6                |
| Revista do Professor de Física            | Não encontrado   |
| Simpósio Nacional de Ensino de Física     | 2                |

**Tabela 1:** Publicações concernentes ao estudo da velocidade do som.

No Caderno Brasileiro de Ensino de Física, encontramos apenas um artigo, intitulado “Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar” (SAAB; CÁSSARO; BRINATTI, 2005). Neste artigo, os autores propõem a utilização de um aparato bastante simples, com o qual é possível medir a velocidade do som no ar por meio do estabelecimento de uma onda estacionária no interior de um tubo de ensaio, utilizado de forma semelhante ao tubo de Kundt. Uma vez estabelecida a onda estacionária, a frequência, bem como o comprimento de onda podem ser medidos e a velocidade, por sua vez, pode ser calculada pela relação  $v = \lambda \cdot f$ .

Na Revista Brasileira de Ensino de Física foram encontrados seis artigos que tratam da determinação da velocidade do som. No primeiro artigo, Speziali e Veas (1986) apresentam uma experiência na qual uma barra metálica cai verticalmente e pula para cima. Fazendo uma analogia com a mola *Slinky*, permite calcular a velocidade do som em barras. No segundo artigo, Barbeta e Marzzulli (2000) apresentam um equipamento didático para a determinação da velocidade de propagação do som no ar com aquisição de dados por computador, o qual consiste de um emissor e de um receptor de ondas sonoras. O valor da velocidade de propagação do som é obtido por meio da medida do tempo necessário para que a onda sonora produzida pelo emissor se propague através de duas posições sucessivas do receptor. No terceiro artigo, Silva et al (2003) propõem um experimento caseiro para a determinação da velocidade do som no ar, utilizando-se de um programa de computador gerador de frequência e de um tubo aberto imerso na água e cuja coluna de ar no tubo pode ser ajustada pela sua imersão no líquido. O experimento foi realizado por diversos alunos, em suas próprias casas, e os resultados obtidos concordaram com os valores esperados. O quarto artigo (LUDKE et al, 2012) apresenta uma alternativa diferente para a medição da velocidade utilizando dois microfones e um gerador de funções cujo sinal de saída passa por um amplificador, o qual alimenta um alto-falante. Tal sinal é captado pelos dois microfones que estão ligados a uma placa de áudio digital para PC, no qual os sinais são analisados e, conhecendo-se a distância entre os microfones, pode-se calcular a velocidade do som. O quinto artigo (BARAÚNA; FURTADO; PEREZ, 2015) propõe um interessante aparato experimental composto de um vaso comunicante, por meio do qual variamos a coluna de ar num tubo, um gerador de sinais e um osciloscópio, cujo canal vertical está ligado à

saída do gerador, enquanto que no canal horizontal está ligado a um microfone que capta a frequência ressonante na boca do citado tubo. Variando o comprimento da coluna de ar no tubo, ao alcançar a ressonância, o microfone capta o sinal e o que aparece na tela do osciloscópio é a figura de um círculo, resultado da composição ortogonal do sinal de entrada com o sinal refletido, ambos de mesma frequência e amplitude. O sexto artigo, intitulado “Velocidade do som em metais pelo método do tempo de vôo” (SOUZA JR.; ARAÚJO; KAKUNO, 2020) propõe um forma de medir a velocidade de propagação de uma onda numa barra metálica, por meio de um aparato experimental que consiste de uma barra metálica, uma base metálica, e um circuito arduino ligado a um *notebook* pela porta USB, o qual captura a propagação do pulso. Os dois terminais de ativação do tempo estão ligados um na extremidade superior da barra e o outro na base. Quando a face inferior da barra, posta verticalmente, golpeia a base, o circuito se fecha e inicia-se a contagem do tempo e, no mesmo instante, o pulso se propaga na barra, e, ao alcançar o terminal superior, determina o tempo de propagação do pulso. Conhecendo-se a distância percorrida na barra, pode-se determinar a velocidade do pulso por meio do cálculo da razão entre o espaço percorrido pelo pulso e o tempo de propagação.

Por fim, encontramos dois trabalhos no Simpósio Nacional de Ensino de Física. O primeiro (GUIMARÃES et al, 2017) consistiu no uso de celulares e de computadores para a captura dos intervalos de tempo entre dois ou mais eventos sonoros em diversas atividades experimentais. Por exemplo, no caso do uso dos celulares, os alunos dispuseram seus celulares numa fileira a uma distância aproximada de 30 cm entre cada um deles e o procedimento consistiu na determinação da velocidade do som por meio das diferenças entre os intervalos de tempo indicados por diferentes microfones para medições simultâneas de estouro de balões dispostos nas extremidades das fileiras. O segundo artigo (SILVA; AGUIAR, 2011) propõe uma sequência didática cujo objetivo é transpor as dificuldades que os estudantes apresentam no entendimento da física da propagação do som. Nesta perspectiva, os autores iniciam a atividade com um conjunto de questões de múltipla escolha, cujo resultado apontou forte presença de concepções errôneas sobre o tema. Na sequência são desenvolvidas atividades experimentais, cuja análise e debate em torno dos resultados promovem o confronto entre tais concepções e os resultados, na busca da mudança conceitual.

Inserindo-nos nesta tradição de pesquisa, desenvolvemos uma sequência didática para o estudo da velocidade do som que, materializando-se a partir dos três momentos pedagógicos de Delizoicov, os quais têm relação direta com situações do cotidiano dos estudantes, busca tornar o estudo da velocidade do som mais ativo e significativo para vida do aluno. No primeiro momento, temos a problematização inicial com o levantamento de informações do cotidiano do aluno sobre velocidade do som. No segundo, temos a organização do conhecimento com a realização de experimentos práticos, pontuando os conceitos e características sobre velocidade do som e, no terceiro momento, temos a relação entre os dois primeiros, ou seja, a aplicação do conhecimento adquirido com as situações observadas no cotidiano, buscando abrir espaço para a formação de estudantes mais críticos e alfabetizados cientificamente. Os três momentos pedagógicos de Delizoicov foram desenvolvidos a partir da pedagogia de Paulo Freire, e que tem como ideia central a educação problematizadora, permitindo o protagonismo dos alunos, numa postura ativa no ato de desvelar inquietações,

confrontar interpretações e promover um entendimento coletivo, criando meios para a aprendizagem significativa do tema em questão.

Foi a partir do diálogo entre a aprendizagem significativa e os três momentos pedagógicos de Delizoicov que construímos a presente sequência didática, a qual buscou valorizar o protagonismo dos estudantes, superando a verticalização desta relação. Valorizando o protagonismo e a autonomia, buscamos a problematização do mundo tecnológico e cultural, reconstruindo-o a partir de uma dimensão investigativa, onde os alunos participaram ativamente das atividades experimentais, medindo e calculando. Puderam, ainda, construir mapas conceituais da forma como estruturaram os conceitos postos em cena, os quais consistiram em interessantes ferramentas de avaliação do progresso dos estudantes.

## II. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO SOM: UM RESGATE HISTÓRICO

Desde os primeiros registros históricos foi constatado que o som se propagava no ar, de um determinado ponto a outro, ou seja, necessitava de um meio material para se propagar. Vários estudiosos tentaram explicar sua propagação.

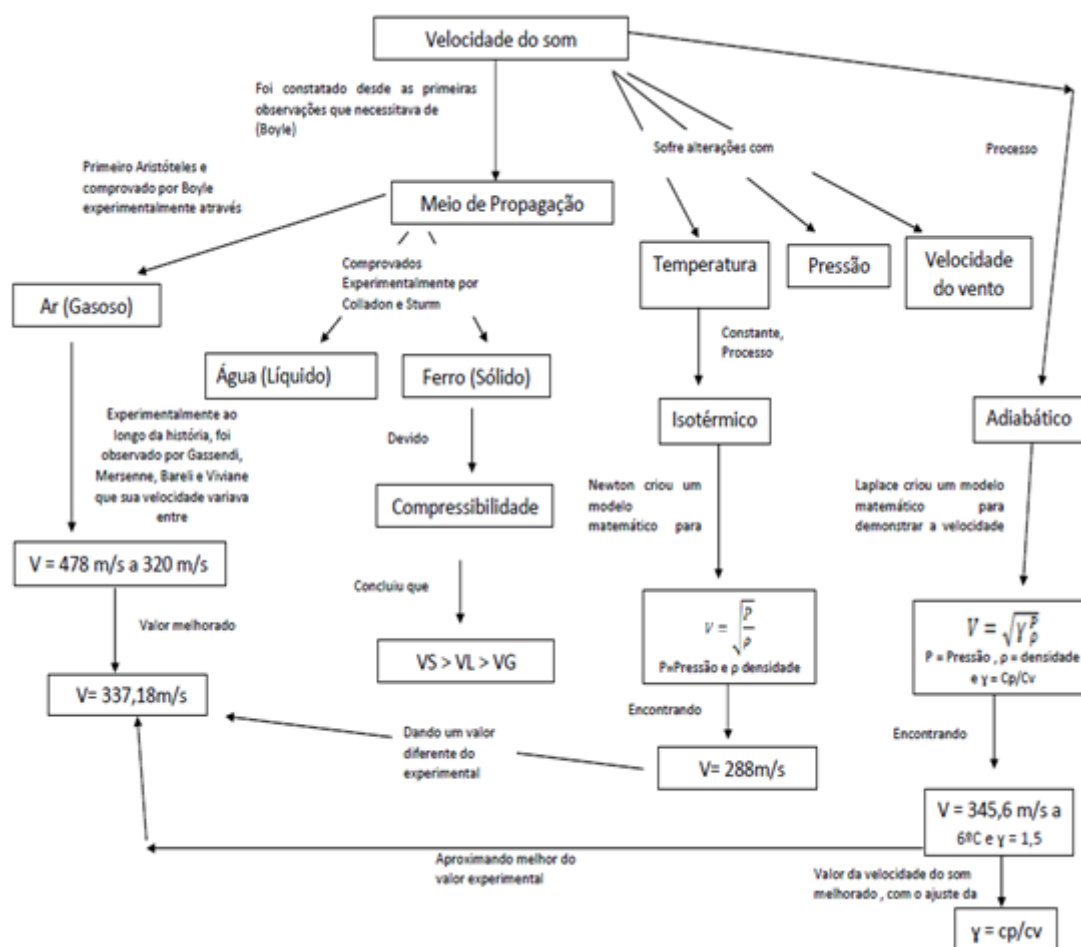


Figura 1: Mapa Conceitual sobre a Velocidade do som (Fonte: elaborado pelo autor).

O mapa conceitual da figura 1 mostra um resgate histórico sobre a evolução e as

características da propagação do som, dos primeiros indícios até os aparatos experimentais desenvolvidos para calcular sua velocidade. O lado esquerdo do mapa mostra os primeiros registros sobre a velocidade do som. Segundo Lindsay (1973), Aristóteles foi um dos primeiros personagens a perceber que o som se propagava no ar. Para ele, o som emitido por fontes sonoras, como um sino, por exemplo, se propagava através do movimento do ar. Em seus estudos, percebeu ainda que no recipiente de vidro em sua volta, o som sofre alguns efeitos causados pela variação da densidade e da compressão.

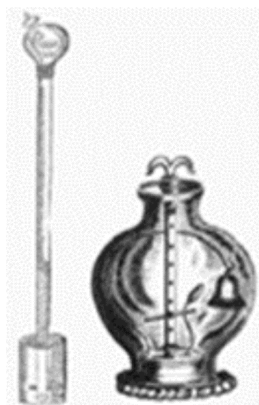
Guericke (1602-1686) e Kircher (1602-1680) tinham suas dúvidas a respeito da propagação do som no ar. Guericke percebeu que o som se propagava melhor quando o ar estava parado. Seu experimento consistiu de uma jarra e uma bomba de ar. No interior da jarra foi colocado um pequeno sino, e, em seguida, o ar contido na jarra foi retirado pela bomba. Mesmo evacuando o ar, ainda percebeu o som do sino, chegando à conclusão de que o som não necessitava do ar para se propagar. Kircher, por meio de suas observações, concluiu que som não precisava do ar para se propagar. Alguns problemas nos experimentos de Guericke e Kircher, tais como a impossibilidade do vácuo adequado, levaram-nos a concluir que o som se propagava mesmo sem a presença do ar. A incapacidade da bomba de vácuo em extrair uma quantidade de ar suficiente para que baixasse a intensidade do som para níveis abaixo dos perceptíveis foi um fator fundamental para as conclusões a que chegaram os personagens anteriormente mencionados.

Em 1660, Boyle repetiu tais experimentos com instrumentos melhorados. Dispondo de uma bomba de ar e um recipiente mais adequados, melhorou a evacuação do ar. Segundo ele, na medida em que o ar era retirado do recipiente, através da bomba de ar, a intensidade do som diminuía. Daí Boyle concluiu que o ar é um meio de transmissão do som, embora não seja o único. Muito embora os princípios de funcionamento do aparato experimental de Boyle sejam semelhantes aos do aparato experimental de Guericke, a maior eficiência da bomba de vácuo, bem como a melhor vedação do recipiente, melhorou substancialmente o desempenho do aparato, permitindo à Boyle constatar a progressiva diminuição da intensidade do som que era ouvido fora do recipiente.

Com a tecnologia que dispomos hoje, com bombas de vácuo suficientemente potentes, é possível esvaziar recipientes, com excelentes sistemas de vedação, de forma que os níveis sonoros transmitidos sejam bem inferiores aos mínimos audíveis, de modo que a percepção do som forma do sistema seja praticamente impossível. A figura 2 mostra o aparato desenvolvido por Boyle para este fim, composto da bomba e recipiente de vidro.

Sabido que o som precisava de um meio material para se propagar, veio a pergunta: com que velocidade o som se propaga no ar? Gassendi, em 1635, fez suas primeiras medições da velocidade do som no ar, utilizando, para tanto, armas de fogo, chegando ao valor de 478,4 m/s. Um pouco mais tarde, Mersenne, com medidas mais precisas, conseguiu baixar esse valor para 450m/s. Borelli e Viviane, utilizando o mesmo tipo de experimento, conseguiram chegar ao valor de 350 m/s, levando em consideração que essas velocidades poderiam sofrer alterações com a influência da temperatura, pressão e velocidade do vento. Bianconi, em 1740, demonstrou que a velocidade do som sofria alterações com o aumento da temperatura.

Com todos esses ajustes, em 1738 foi realizada a primeira medição da velocidade do som ao ar livre pela Academia de Ciências de Paris, utilizando um canhão como fonte sonora, atingindo valor de 332 m/s, nas condições normais de pressão e temperatura. À

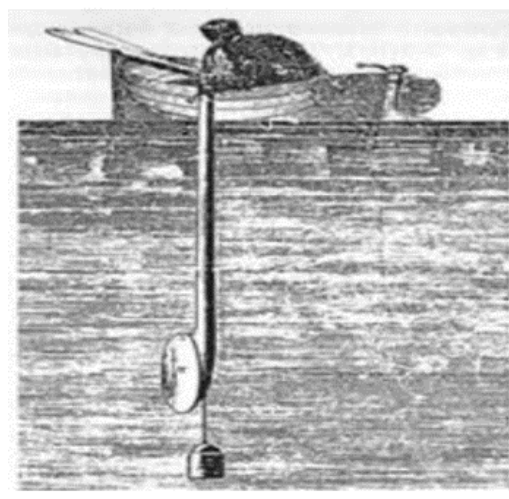


**Figura 2:** Experimento de Boyle. Fonte: <http://www.gradadm.ifsc.usp.br/dados/20142/FFI0210-1/Historia%20da%20Acustica%201.pdf>

época, como já foi mencionado, já se sabia que o ar não era o único meio de transmissão do som, o qual também se propagava em meios líquidos e sólidos. Contudo, a dúvida pairava sobre a sua velocidade, ou seja, se tal magnitude sofria interferência do meio. Colladon e Sturn realizaram um experimento para calcular a velocidade do som na água. Para tanto, utilizaram um sino debaixo da água e uma pequena quantidade de pólvora, conforme pode ser visto na figura 3. Neste aparato experimental, ao golpear o sino, o experimentador do barco da esquerda explodia, simultaneamente, uma pequena quantidade de pólvora. No momento que a luz da explosão chegava ao experimentador do barco da direita, este iniciava uma contagem do tempo até que som percorrido pela água pudesse ser ouvido por ele. Por meio da determinação experimental do tempo e da distância entre os barcos, puderam encontrar um valor para a velocidade do som de 1438m/s, o qual está muito próximo do valor atual, que é de 1482m/s a 20°C.



(a) A



(b) B

**Figura 3:** Experimentos para o Cálculo da velocidade do som na água (Fonte: Lindsay, 1973, p. 199-200).

O som assume velocidades diferentes em diferentes meios de propagação, devida à

compressibilidade do material. A velocidade em meios sólidos é maior que a velocidade em meios líquidos que, por sua vez, é maior que em meios gasosos, ou seja,  $V_S > V_L > V_G$ .

Voltando ao mapa conceitual da figura 1, o lado da direita está associado à parte do formalismo físico-matemático. Newton tentou criar um modelo matemático para calcular a velocidade do som. Considerando como sendo um sistema isotérmico, chegou à relação  $V = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$ , onde  $P$  é a pressão e  $\rho$  a densidade, encontrando valores próximos a 288m/s, o que discordava dos valores experimentais da época. O pressuposto assumido por Newton o levou a um resultado teórico muito distante dos valores encontrados experimentalmente.

Laplace, por sua vez, conseguiu obter valores mais próximos do conhecido atualmente, partindo de uma outra hipótese. Considerando o sistema como sendo adiabático, chegou à relação  $V = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$ , onde  $P$  é pressão,  $\rho$  a densidade e  $\gamma$  uma constante calculada por meio de  $c_P$  e  $c_V$  (calores específicos à pressão e volume constantes, respectivamente), encontrando o valor de 345,6 m/s, o qual está bem mais próximo do valor encontrado experimentalmente. Laplace, além de encontrar uma relação teórica para a velocidade do som, determinou também de que forma tal velocidade dependia da temperatura, da pressão e da densidade. Tal esforço experimental possui largo e interessante desenrolar histórico que, inclusive, ajudou a desenvolver marcos teórico-experimentais de outros campos da física. Tal contexto histórico (LINDSAY, 1973) revela interessantes aparatos experimentais desenvolvidos para este fim, cujas reconstruções poderiam gerar interessantes sequências didáticas experimentais no estudo da velocidade do som no ensino médio. Alinhados com esta perspectiva, a montagem que compõe a parte experimental do nosso produto constituiu de uma reconstrução histórica do aparato original de Boyle (figura1). No caso do episódio em análise, além de tais reconstruções, a história revela os conceitos que devem ser tomados como subsunçores na aprendizagem significativa relativa à física da propagação do som no ar, quais sejam, temperatura, pressão e densidade. Cabe aqui definir subsunçores como sendo conceitos ou experiências prévias, já conhecidos pelo aprendiz, que servirão de ponto de partida para a aprendizagem de novos conceitos. A aprendizagem será significativa se o novo conhecimento se ancorar em conceitos que o estudante já sabe e que são potencialmente significativos para a aprendizagem do novo conhecimento. Os modelos desenvolvidos por Newton e Laplace, além de consistirem em exemplos históricos da dependência que um resultado tem da hipótese sobre a qual o modelo teórico é construído, também apontam para a importância de dar conta das evidências experimentais.

O livro do Moysés Nussenzveig (2014) apresenta o tratamento físico-matemático por-menorizado, tanto para a hipótese de se tratar de um processo isotérmico, quanto para a hipótese de se tratar de um processo adiabático. Caso o professor de física que venha a utilizar o nosso produto e queira aprofundar ou construir propostas de continuidade à presente sequência didática, poderá, também, consultar nossa dissertação de mestrado (OLIVEIRA FILHO, 2022), na qual construímos uma explicação didática para os citados modelos. Segundo essas apresentações, as relações matemáticas para a velocidade do som que derivam das hipóteses isotérmica e adiabática são:

$$v = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0}} \rightarrow \text{Modelo isotérmico} \quad v = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{m}} \rightarrow \text{Modelo adiabático}$$



### III. METODOLOGIA

Nosso produto educacional foi aplicado no início de novembro de 2021, em uma turma do 3º ano do ensino médio de uma escola privada do município de Limoeiro/PE. Muito embora o produto educacional tenha sido gestado tanto para aplicação presencial, quanto remota, tivemos a oportunidade de aplicá-lo de forma presencial. Como os alunos ainda não tinham estudado acústica, fizemos o estudo das ondas mecânicas e, no caso da acústica, tal estudo foi realizado antes da aplicação do produto.

A metodologia de aplicação do produto foi gestada a partir do diálogo entre a aprendizagem significativa (MOREIRA 1999), os três momentos pedagógicos de Delizoicov (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014) e o ensino sob medida (STUDART 2019). Neste diálogo, partindo da teoria da aprendizagem significativa, valorizamos os conhecimentos prévios que os estudantes possuem, selecionando, dentre estes, aqueles potencialmente significativos para a aprendizagem significativa referente ao estudo da propagação do som. Mas o que é aprendizagem significativa e quando alguém aprende significativamente? David Ausubel, criador da teoria da aprendizagem significativa, afirma que a aprendizagem é significativa quando o conhecimento a ser aprendido se relaciona ao conhecimento prévio (aquele que o aluno já sabe) de forma não-arbitrária e não literal. Tal conhecimento prévio torna-se o subsunçor no qual o novo material se ancora. É preciso dizer que tal ancoragem não se deve dar em qualquer subsunçor (não arbitrária), mas em subsunçores potencialmente significativos, ou seja, aqueles que guardam relações lógicas com o conhecimento novo. Por outro lado, a aprendizagem significativa é não-literal, ou seja, o indivíduo não decora (aprendizagem mecânica). Não é uma internalização do conteúdo como a gravação numa mídia, mas um processo de atribuir significado às experiências. Neste sentido, buscamos promover a ancoragem a partir dos universos experienciais dos estudantes por meio de atividades introdutórias (organizadores prévio, na linguagem do Ausubel), ativando seus conhecimentos prévios a partir da problematização do cotidiano. Para tanto, nossa metodologia foi construída a partir do diálogo entre os três momentos pedagógicos de Delizoicov (problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento), pormenorizado a seguir, e o ensino sob medida, o qual consiste numa metodologia ativa (STUDART, 2019) que tem o objetivo de preparar uma aula a partir das respostas dos alunos com respeito à atividade inicialmente proposta. Tal atividade inicial pode ser uma leitura de um texto, uma pesquisa, dentre outras. Por meio de um ambiente digital, um questionário é anexado ao material de estudo e enviado para o estudante. O aluno estuda o material, responde o questionário e envia para o professor. Em cima das respostas dos alunos, o professor prepara sua aula de acordo com as dificuldades identificadas por meio da análise do questionário, ajustando o processo de ensino e aprendizagem. Também por meio do questionário, o professor identifica os conhecimentos prévios dos alunos. O infográfico da figura 4 mostra o encaixe do ensino sob medida nos três momentos pedagógicos.

O quadro 2 apresenta todos os passos a serem seguidos em cada um dos três momentos pedagógicos, bem como a quantidade de aulas necessária ao desenvolvimento de cada atividade proposta na sequência didática, a qual pode ser aplicada tanto presencialmente, quanto remotamente. Basta seguir como está descrito e acreditamos que os resultados de tal ação de ensino sejam satisfatórios, assim como se deu na aplicação de tal produto durante a



Figura 4: Os três momentos pedagógicos com o ensino sob medida. (Fonte: elaborado pelo autor).

dissertação na qual ele foi gestado. Nossa sequência convida os estudantes a investigarem de forma teórico-experimental o mecanismo de propagação do som e como podemos medir a sua velocidade.

#### IV. RESULTADOS

A problematização inicial consistiu de cenas de dois filmes (*Star Wars* e *Gravidade*) que retratam explosões, tiros e choques entre destroços no espaço, a fim de sondar alguns possíveis conhecimentos prévios sobre propagação do som (figuras 5, 6 e 7).

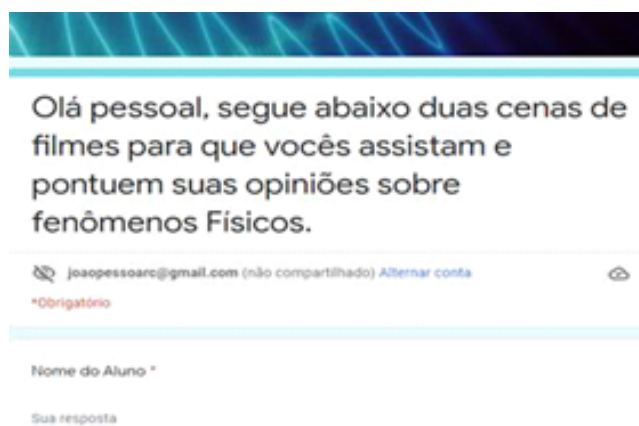


Figura 5: Questionário inicial da problematização inicial (Fonte: Google forms)

| SEQUÊNCIA DIDÁTICA   |   |
|--|---|
| MOMENTOS   | ATIVIDADES  |
| 1° MOMENTO: Problematização inicial e análise das informações                      | Apresentar aos alunos os seguintes questionamentos:<br>Aula 1: cenas de filmes que pontuem características da propagação do som no espaço.<br>Aula 2: diagnosticar os conhecimentos prévios por meio do jogo (Labirinto no <i>Wordwall</i> ) e de perguntas a respeito da velocidade do som e suas características.<br>Planejamento: analisar os conhecimentos prévios dos alunos.  |
| 2° MOMENTO: Organização do conhecimento e planejamento da aula.                    | Conteúdo trabalhado: acústica.<br>1. Hipóteses:<br>Aula 3: fazer um levantamento histórico sobre a velocidade do som e seus aparatos experimentais para medir a sua velocidade.<br>Aula 4: preparar uma aula de acordo com o levantamento feito por meio do diagnóstico e dos pontos de vista sobre o filme.<br>2. Atividade experimental:<br>Aula prática 1 (pote hermético e bomba de vácuo): verificação de que o som precisa de um meio material para se propagar. A sala pode ser dividida e os aparatos serem permutados.<br>Aula prática 2: calcular a velocidade do som por meio do experimento do tubo de ressonância. A sala pode ser dividida e os aparatos serem permutados.<br>3. Observações e conclusões:<br>Aula 7: mostrar a importância dos conhecimentos prévios e dos experimentos para o processo de ensino e de aprendizagem e socialização dos resultados com os alunos. |
| 3° MOMENTO:<br>Aplicação do conhecimento e a prática do conhecimento no cotidiano. | Aula 8: retomar aos questionamentos iniciais, pontuando os conceitos que foram vistos e mostrando a sua importância para aplicação no cotidiano por meio de uma roda de debate.<br>Aula 9: mostrar aos estudantes o que é um mapa conceitual e como construir, mostrando exemplos.<br>Aula 10: elaboração de um mapa conceitual para avaliarmos os grupos durante todo o processo.  |

**Tabela 2:** Organização das atividades investigativas com base nos Três Momentos Pedagógicos e Ensino sob Medida.

Utilizamos o *Google forms*, com esses vídeos e questionário. Com base nesse questionário problematizador, pudemos filtrar os conhecimentos prévios dos alunos e, a partir daí, preparar momentos de intervenção para melhorar ainda mais os conhecimentos dos alunos a respeito da velocidade do som e suas características. Continuando com a problematização inicial, ou seja, o primeiro momento pedagógico de Delizoicov e o ensino sob medida, criamos um jogo utilizando a ferramenta *Wordwall* de uso gratuito (<https://wordwall.net/pt>), ferramenta que possibilita criar vários jogos para utilizarmos no processo de ensino e de aprendizagem, trabalhando com gamificação de forma ativa com os alunos.

O *Wordwall* consiste numa ferramenta que possibilita a criação de jogos interativos, o qual pode ser utilizado como ferramenta didática no âmbito de uma metodologia ativa. Tal ferramenta já possui uma estrutura pronta, pré-definida, na qual o professor pode inserir questionamentos e situações-problema. No *Layout* podemos ainda inserir efeitos, graus crescentes de dificuldade ao passar das fases, assim como acontece nos jogos digitais. Uma



Figura 6: Explosão e tiros no espaço (Fonte: “star wars III - a vingança dos sith”)



Figura 7: Impactos entre destroços no espaço (Fonte: cena do filme “gravidade”).

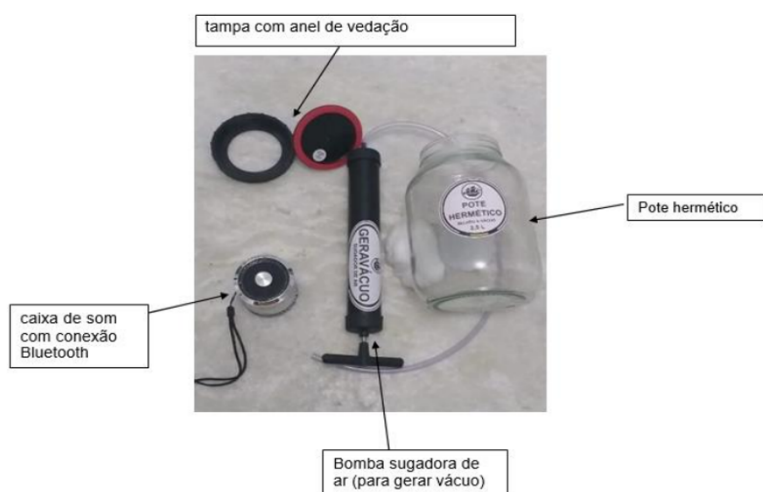
vez construído o jogo, conforme o planejamento do professor, um *link* deve ser gerado e disponibilizado para os estudantes, a fim de que possam jogar.

Escolhemos o jogo de labirinto, onde fizemos perguntas a respeito do som e suas características, propriedades para aprofundar mais nos conhecimentos prévios dos alunos, se baseando na metodologia de Ausubel. Ao término deste primeiro momento, nos encontramos com um valioso banco de informações a serem analisadas, a fim de construir ações para tornar o ensino mais significativo na vida dos envolvidos. A figura 8 mostra o *layout* do desafio 1 do jogo por nós desenvolvido.



Figura 8: Wordwall (Fonte: <https://wordwall.net/pt>).

O segundo momento da nossa sequência consistiu de duas aulas experimentais que



**Figura 9:** Pote hermético 2,5 L e bomba sugadora de ar (Fonte: elaborado pelo autor).



**Figura 10:** Alunos do grupo 4 realizando a prática 1 (Fonte: elaborado pelo autor).

serviram, a partir dos momentos pedagógicos, como organizador dos conhecimentos dos alunos, analisando, na prática, as teorias a respeito da velocidade do som e dando significado aos conteúdos estudados.

## I. Atividade Experimental 1

Tal atividade experimental, mostrada na figura 9, consiste na reconstrução do experimento de Boyle, com algumas adaptações, onde no lugar do sino foi colocada uma caixa de som que emite além do som, luz. O objetivo do experimento é que os estudantes percebam que ao retirar o ar de dentro do pote o som não se propaga, enquanto a luz continua a se propagar.

Neste momento, os alunos não só montaram os aparatos, mas também realizaram as atividades práticas, tirando suas conclusões a respeito da propagação do som, como mostrado na figura 10.

Após a realização da atividade experimental 1, todos os grupos tiveram que responder dois questionamentos sobre a prática, os quais estão transcritos a seguir, bem como as respostas dadas pelos estudantes.

1. Analisando o experimento, foi possível perceber que o som necessita de um meio material para se propagar?
2. O que acontece com o som e com a luz da caixinha de som quando o ar é retirado do pote, quais as propriedades físicas que podem ser observadas nesse experimento?

Grupo 1 (Respostas)

1. Sim, a partir do momento em que começa a retirar o ar do pote, o som se torna inaudível, visto que o som precisa de um meio material para se propagar, no caso o ar.
2. O som deixa de se propagar, visto que é uma onda mecânica e precisa de um meio para se propagar. Quando o ar foi retirado do pote deixa de existir o meio para a propagação. A

Luz presente na caixa de som é uma onda eletromagnética, conseguindo assim se propagar no vácuo.

Grupo 2 (Respostas)

1. Sim, pois não é possível perceber distúrbios sonoros no vácuo, o som necessita de um meio para se propagar e a velocidade do som pode mudar conforme seja o meio de densidade diferente.

2. O som não emite mais barulho, pois está imerso no vácuo, e como é uma onda mecânica precisa de um meio material para se propagar. Já a luz da caixinha, pode se propagar pois é uma onda eletromagnética e consegue se propagar no vácuo. Por isso conseguimos ter sua visualização.

Grupo 3 (Respostas)

1. Sim, o som é uma mecânica e precisa de um meio material para se propagar, já no vácuo não se propaga, pois necessita de partículas para o transporte de energia.

2. Devido a ausência, do ar o som não se propaga, já a luz se propaga no vácuo pois é uma onda eletromagnética.

Grupo 4 (Respostas)

1. Sim, quando o ar foi retirado do pote gerando um vácuo o som não se propagava mais.

2. O som não se propaga, enquanto a luz sim. O som é uma onda mecânica, ou seja necessita de uma meio para se propagar, já a luz é um exemplo de onda eletromagnética, ou seja, não precisa de uma meio para se propagar.

Grupo 5 (Respostas)

1. Sim, porque é uma onda mecânica e longitudinal, logo como o vácuo não é um meio material, ele não se propaga. Sendo assim, não conseguimos ouvir a música quando foi tirado o ar e quando foi vedado pelo material usado no experimento.

2. O som não é propagado, pois é uma onda mecânica e precisa de um meio material para de propagar. Esse também é uma onda longitudinal e no experimento não deu para escutar o som no vácuo. Já a luz se propaga no vácuo, pois é uma onda eletromagnética e não precisa de um meio material para se propagar. Essa também é uma onda transversal.

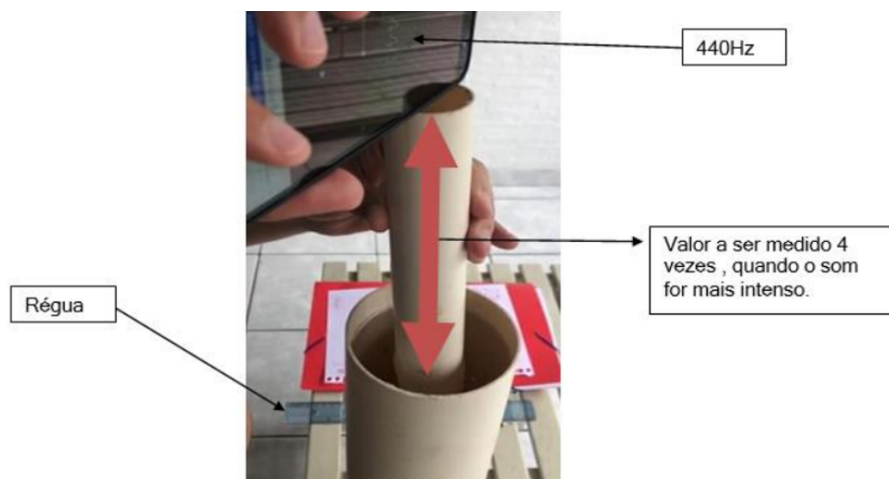
## II. Atividade experimental 2

A atividade experimental 2 consiste de um tubo de PVC de 100mm, vedado na extremidade inferior e posto na vertical, no qual é colocada uma certa quantidade de água, conforme mostra a figura 10. Dentro da água, colocamos um segundo tubo de PCV, de 40mm, de forma que podemos variar o comprimento da coluna de ar em seu interior, na medida em que baixamos ou suspendemos este tubo.

Esta coluna de ar é aberta numa extremidade e fechada na outra, de modo que se produzem ressonâncias quando  $l = \lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4, \dots$ , onde  $v = \lambda \cdot f$ , sendo  $v$  a velocidade do som no ar.

Na atividade, aproximarmos o celular da extremidade do tubo, emitindo uma frequência de 440Hz, produzida por um aplicativo gerador de áudio, e, ao mesmo tempo, movemos o tubo pra cima e pra baixo até encontrar o comprimento ressonante.

A ressonância é detectada pelo reforço considerável da intensidade sonora que pode ser notado auditivamente, desde que o ambiente não seja demasiadamente ruidoso. Medindo  $l$ ,



**Figura 11:** Medindo  $L$ , para determinar  $\lambda$  (Fonte: elaborado pelo autor).



(a) Momento 1



(b) Momento 2



(c) Momento 3

**Figura 12:** Momentos da atividade experimental 2 (fonte: elaborado pelo autor).

pode-se determinar  $\lambda$  e, por conseguinte,  $v$ . A superfície da água atua como uma parede e este aparato representa um tubo fechado em uma das extremidades.

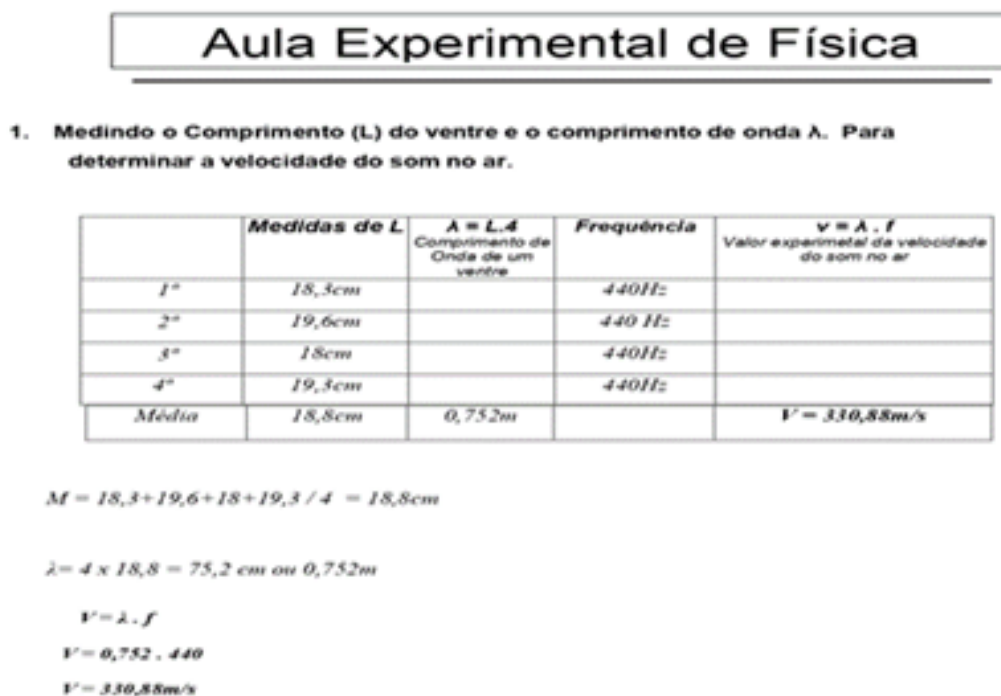
Material Utilizado: um cano de 100mm de 42cm de comprimento, um tampão de 100mm, um cano de 40mm de comprimento de 52cm de comprimento, um smartphone, aplicativo gerador de frequência, água e régua (figura 11).

Nesta prática, assim como na anterior, valorizamos o protagonismo dos estudantes, onde puderam medir, com o auxílio de uma régua, o comprimento do ventre formado no cano de 40mm entre o nível da água e sua extremidade, na medida em que som ficava mais intenso ao aproximar o celular na extremidade do cano, anotando os valores em cm. Para produzir o som com frequência de 440Hz foi utilizado um aplicativo de celular gerador de frequência. A figura 12 ilustra três momentos desta etapa.

Cada grupo realizou as quatro medidas do valor de  $\lambda$  e, em seguida, tirou a média e multiplicou por 4. O grupo 1 obteve o valor do comprimento de onda  $\lambda = 70,8$  cm. Transformando para metro e multiplicando pela frequência de 440Hz, obteve o valor de

311,52 m/s, o qual pode ser considerado um valor bem próximo do valor da velocidade do som no ar. Já o grupo 2 obteve o valor de 330,88 m/s, bem mais próximo do valor esperado. Tal sucesso se deu notadamente pelo cuidado que tiveram na fixação do comprimento ressonante, bem como na sua medida. Os demais grupos obtiveram valores bastante significativos, próximos também. É importante que se diga que o desenvolvimento de habilidades no uso de instrumentos de medida, no uso de *softwares* de laboratório e o trabalho colaborativo são, indubitavelmente, um ganho espetacular em relação às propostas tradicionais no ensino de física.

Os estudantes desenvolveram as atividades de uma maneira muito satisfatória, obtendo os valores da velocidade do som bem próximos ao valor determinado na literatura, mostrando a aplicação física por meio do modelo matemático que descreve o fenômeno, mostrando sua importância e dando significado ao cálculo. A figura 13 mostra a folha de cálculos do grupo 2.



**Figura 13:** Dados experimentais da prática 2 (Grupo 2) (Fonte: elaborado pelo autor).

Na parte final, na qual se deu o terceiro momento pedagógico, associado ao ensino sob medida, fizemos uma reflexão sobre todos os conceitos e habilidades trabalhados e suas aplicações no cotidiano. E, por meio de um debate, essas colocações ficaram bem claras por parte dos estudantes, e o que chamou mais atenção é que todos os alunos que participaram dessas aplicações estavam bem engajados, até mesmo aqueles alunos que não participam das aulas no dia-a-dia. Isso nos faz refletir bastante sobre nossa prática como professor. Após o debate, foi colocado para os alunos como forma de avaliação construir um mapa conceitual. Nesta etapa, foi mostrado a eles o que é um mapa conceitual e como construí-lo. Todos os mapas construídos pelos grupos apontam, segundo nossa análise, que houve aprendizagem significativa de conceitos e relações. A figura 14 mostra o mapa construído pelo grupo 5.

Neste percurso, percebemos que os mapas tiveram um alinhamento diante do que foi



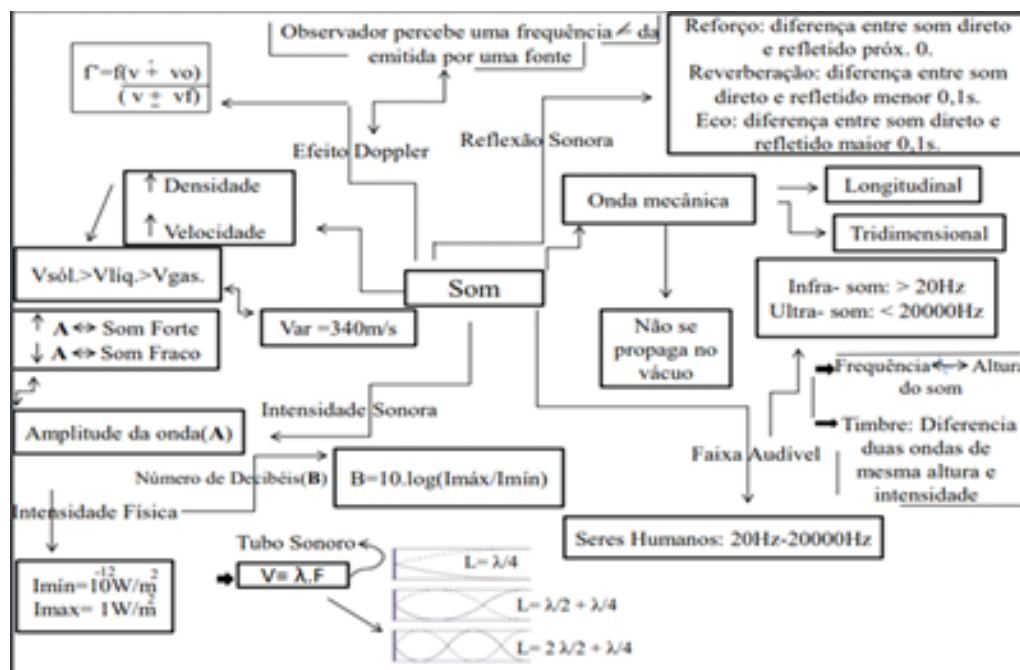


Figura 14: Mapa Conceitual do grupo 5 (Fonte: Elaborado pelos alunos do grupo 5).

proposto. Os resultados foram surpreendentes, pois foi o primeiro mapa realizado pela turma. Percebemos a organização das informações e pudemos aquilatar a importância do mapa com ferramenta para avaliação da construção dos conhecimentos, os quais parecem ter se consolidado na estrutura cognitiva dos estudantes, como ficou visível no debate.

## V. CONCLUSÃO

Com base no percurso trilhado, enquanto professor pesquisador, percebemos elementos que apontam para a efetivação de aprendizagem significativa, que foi muito além de decorar fórmulas e aplicá-las. Pudemos perceber protagonismo, reflexão em torno do que estavam realizando, seja de forma teórica, seja de forma experimental. Permitiu, ainda, que os estudantes desenvolvessem um outro olhar a respeito da natureza da ciência, ressignificando o conhecimento e sua aplicabilidade, aproximando-se do ideal da alfabetização científica, no qual devemos, em nossas aulas, possibilitar aos estudantes a liberdade necessária para crescerem conceitualmente, procedimentalmente e epistemologicamente.

Por meio da construção e aplicação do nosso produto, ficou clara, ao término, a satisfação dos alunos. Algo que nos chamou bastante a atenção foi o pedido, vindo de vários deles, para que fizéssemos estas aulas com maior frequência. Os resultados da aplicação do produto foram muito satisfatórios, tanto no aprendizado de conceitos científicos, quanto no desenvolvimento de habilidades para o trabalho experimental.

As respostas dos alunos às questões relativas aos filmes mostraram comprometimento teórico e interesse em investigar, assim como no joguinho do labirinto no *wordwall*, onde foi feito um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos. Toda essa aplicação inicial, realizada de forma remota, devida à pandemia, nos mostrou que, mesmo assim, tivemos ótima participação e grande interesse dos envolvidos, como pode ser visto na figura 15.



Figura 15: Resultado do jogo “Wordwall” (Fonte: Wordwall).

Com base no jogo e por meio dos resultados gerados pela própria ferramenta, pudemos analisar os conhecimentos prévios dos alunos com mais profundidade, conteúdos que já foram trabalhados no 9º ano do ensino fundamental, e, nos dias de hoje, trabalhados com mais eficiência com a BNCC, que se mostrou preocupada com ensino de física no ensino fundamental. Ao término deste primeiro momento, nos encontramos com um valioso banco de informações a serem analisadas, a fim de construir ações para tornar o ensino mais significativo na vida dos envolvidos. E foi o que fizemos: planejamos as atividades experimentais em direção à subsunção necessária à aprendizagem significativa de conteúdos e habilidades.

Em seguida foram realizadas as aplicações das atividades práticas 1 e 2. Neste momento já havia flexibilização das atividades e pudemos realizá-las de forma presencial, contando com 25 alunos do 3º ano, divididos em 5 grupos de 5 alunos.

Analisando as respostas dos grupos, ao final da atividade experimental 1, destacamos a importância da aula experimental para construção do conhecimento ao ver o alinhamento das repostas com respeito à precisão conceitual referente às características do som, pontuando as ondas mecânicas, e eletromagnéticas, onde os alunos souberam diferenciar a onda mecânica, em particular o som, que necessita de um meio material para se propagar, e a onda eletromagnética, em particular a luz, que não necessita de um meio material para se propagar, satisfazendo o que era proposto na citada atividade.

Na atividade experimental 2, todos os grupos chegaram a valores bem razoáveis, muito próximo embora possuam pequenos desvios em relação ao valor de referência que pode ser encontrado na literatura. Os grupos encontraram, para a velocidade do som no ar, os valores de 311,52 m/s (grupo 1), 330,88 m/s (grupo 2), 314,16 m/s (grupo 3), 314,16 m/s (grupo 4) e 319,44 m/s (grupo 5). O importante aqui é considerar que no processo, o percorrer o caminho é mais importante do que o resultado. Neste caminho, os estudantes puderam ser protagonistas, tiveram a oportunidade de desenvolver habilidades necessárias ao trabalho experimental, habilidades estas que poderão ser úteis ao longo da vida, além da oportunidade de comparar o modelo teórico com a atividade prática, podendo compreender que a física é uma ciência experimental e, portanto, possui graus de incerteza.

Numa fala de Marco Antônio Moreira, no minicurso do MNPEF pela SBF pelo canal do *You Tube* no final de novembro de 2021, que chamou bastante atenção foi que nos Estados Unidos a disciplina de física no ensino médio não é obrigatória, mas é o país com maior produção acadêmica na área de física. Refletindo sobre o ensino de física no Brasil, percebemos que o importante não é a quantidade de conteúdo que se ensina, mas sim a forma e a qualidade com que esses conteúdos são ensinados. O MNPEF vem mostrando vários trabalhos em todas as áreas da física que podem ser implementados na sala de aula, com metodologias incríveis e que fazem diferença enorme no processo de ensino e de aprendizagem, principalmente para a proposta da BNCC para o ensino fundamental e o Novo Ensino Médio. Ambos visam o protagonismo do aluno e o trabalho de uma física mais experimental e voltada para aplicações no cotidiano. Por meio destes pequenos, mas consistentes, passos, podemos caminhar em direção a um Brasil em que as pessoas entendam melhor o funcionamento da ciência e sua aplicabilidade.

## REFERÊNCIAS

BARAÚNA, F.; FURTADO, J.; PEREZ, S. Medindo a velocidade do som utilizando figuras de Lissajous. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.37, n.3, 2015. eISSN: 1806-9126.

BARBETA, V. B.; MARZZULLI, C. R. Experimento didático para determinação da velocidade de propagação do som no ar assistido por computador. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.22, n.4, 2000. eISSN: 1806-9126.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Medir a velocidade do som pode ser rápido e fácil. *A Física na Escola*, v. 6, n. 2, 2005. eISSN 1983-6430.

CAVALCANTE, M. A.; PEÇANHA, R.; LEITE, V. F. Princípios básicos de imagens ultrassônicas e a determinação da velocidade do som no ar através do eco. *A Física na Escola*, v. 12, n. 2, 2011. eISSN 1983-6430.

GUIMARÃES et al. Determinação da velocidade do som com computadores e celulares. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA – SNEF, XXII, 2017, São Carlos/SP. *Anais...* São Carlos: Instituto de Física da USP, 2017. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/~snef/xxii/>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

LINDSAY, R. B. *Acoustics: historical and philosophical development*. Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross Inc, 1973. ISBN 0-87933-015-5.

LUDKE, E. et al. Velocidade do som no ar e efeito Doppler em um único experimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.34, n.1, 2012. eISSN: 1806-9126.

MOREIRA, Marco Antônio. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária LTDA, 1999.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro "Física". *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 20, n. 3, 2014.

NUSSENZVEIG, M. *Física Básica*. v.2. 5ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2014.

OLIVEIRA FILHO, J. P. Sequência didática investigativa baseada nos três momentos pedagógicos de Delizoicov para a determinação experimental da velocidade do som no ar. Dissertação (Mestrado). Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2022. Disponível em: <http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>.

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*, v.22, n.1, 2005. eISSN 2175-7941.

SILVA, S. T.; AGUIAR, C. E. Propagação do som: conceitos e experimentos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA – SNEF, XIX, 2011, MANAUS/AM. *Anais...* Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2011. Disponível em: < <http://www.sbfisica.org.br/~snef/xix/index.html/> >. Acesso em: 25 ago. 2021.

SILVA, W. P. et al. Velocidade do som no ar: um experimento caseiro com microcomputador e balde d'água. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.25, n.1, 2003. eISSN: 1806-9126.

SOUZA JR., D. B.; ARAÚJO, J. W. B.; KAKUNO, E. M. Velocidade do som em metais pelo método do tempo de voo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.42, 2020. eISSN: 1806-9126.

SPEZIALI, N. L.; VEAS, F. O. Ondas longitudinais: determinação da velocidade do som em metais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.8, n.1, 1968. eISSN: 1806-9126.

STUDART, N. Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n. 3, p. 1-24, Brasília, 2019.

---