



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
(POLO 58 - UFRPE)

SEQUÊNCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA BASEADA NOS TRÊS MOMENTOS
PEDAGÓGICOS DE DELIZOICOV PARA A DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL
DA VELOCIDADE DO SOM NO AR

João Pessoa de Oliveira Filho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Recife
Fevereiro de 2022

SEQUÊNCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA BASEADA NOS TRÊS MOMENTOS
PEDAGÓGICOS DE DELZOICOV PARA A DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL
DA VELOCIDADE DO SOM NO AR

João Pessoa de Oliveira Filho

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior
UFRPE - Presidente

Prof. Dr. Ronaldo Pereira de Melo Júnior
Colégio Militar do Recife – Membro Titular Externo

Prof. Dr. Carlos André de Carvalho Bosco
UFRPE – Membro Titular Interno

Recife
Fevereiro de 2022

S586p Oliveira Filho, João Pessoa de
Sequência didática investigativa baseada nos três momentos pedagógicos de Delizoicov para a determinação experimental da velocidade do som no ar / João Pessoa de Oliveira Filho -Recife: UFRPE / IF, 2022. viii, 70 f.: il.;30cm.
Orientador: Francisco Nairon Monteiro Júnior
Dissertação (mestrado) – UFRPE / Pró-Reitoria de Pós Graduação / Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, 2022.
Referências Bibliográficas: f. 68-70.
1. Ensino de Física. 2. Três momentos pedagógicos. 3. Velocidade do som. I. Monteiro Júnior, Francisco Nairon. II. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física. III. Sequência didática investigativa baseada nos três momentos pedagógicos para a determinação experimental da velocidade do som.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela oferta, em conjunto, do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, possibilitando a capacitação em nível de mestrado, em pleno exercício da profissão, de professores atuantes no ensino da física na educação básica.

A Deus por toda caminhada durante esse mestrado, mesmo nesse formato de pandemia.

À toda minha família por todo apoio, em especial aos meus filhos, esposa, pai e mãe.

Aos professores do polo 58 do MNPEF pela dedicação, em especial ao professor Nairon por todo conhecimento compartilhado ao longo do curso e na orientação.

RESUMO

SEQUÊNCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA BASEADA NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS DE DELIZOICOV PARA A DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA VELOCIDADE DO SOM NO AR

João Pessoa de Oliveira Filho

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

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 uma sequência didática, baseada no diálogo entre os três momentos pedagógicos 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: Ensino de Física, Três Momentos Pedagógicos, Velocidade do Som.

Recife
Fevereiro de 2022

ABSTRACT

INVESTIGATIVE TEACHING SEQUENCE BASED ON DELIZOICOV THREE PEDAGOGICAL MOMENTS FOR THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF SOUND SPEED IN AIR

João Pessoa de Oliveira Filho

Supervisor:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Abstract of Master's Dissertation presented to the Professional Graduate Program in Physics Teaching at the Federal Rural University of Pernambuco, in the Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), *Campus 58-UFRPE*, as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

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 a didactic sequence, based on the dialogue between the three pedagogical moments 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 physics. In addition, the experimental results and the conceptual maps produced by them show that learning took place.

Keywords: Physics education, Three Pedagogical Moments, Speed of Sound.

Recife
February 2022

Sumário

Capítulo 1 A importância da determinação da velocidade do som no estudo das ondas sonoras	8
Capítulo 2 A pesquisa em ensino de física e os mecanismos de determinação da velocidade do som.....	11
Capítulo 3 Fundamentação Teórica.....	15
3.1 Determinação da velocidade do som: um resgate histórico	15
3.2 Análise física da velocidade de propagação do som	19
Capítulo 4 Aprendizagem Significativa	29
4.1 Os três momentos pedagógicos.....	32
4.2 Ensino sob Medida (EsM) ou (Just -in-TimeTeaching).....	34
4.3 Conteúdos e habilidades trabalhados no produto educacional	36
Capítulo 5 Aplicação do produto educacional	37
Capítulo 6 Resultados e Conclusão	49
6.1 Resultados	49
6.2 Conclusão	58
Referências Bibliográficas.....	59
Apêndice A - O produto educacional	62
Sumário.....	64
Apresentação.....	65
A sequência didática	66
Prática 1: verificação de que o som precisa de uma meio material para se propagar.....	68
Prática 2: determinação da velocidade do som no Ar.	71
Referências Bibliográficas.....	75

Capítulo 1 A importância da determinação da velocidade do som no estudo das ondas sonoras

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. 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. Contudo, muitos professores desconhecem tal arcabouço, cuja valorização poderia melhorar, em muito, suas aulas sobre este tema.

Diante das observações feitas por nós em sala de aula, na nossa prática do ensino de física e ciências, percebemos que o ensino de acústica, assim como de outros conteúdos da física, não são bem explorados no ensino fundamental, anos finais, gerando lacunas na formação que irão impactar no aprendizado da física durante o ensino médio. O primeiro contato de muitos alunos com a física acontece apenas no ensino médio, dificultando bastante o processo de ensino e de aprendizagem, devido, dentre outros fatores, à falta de subsunçores necessários à ancoragem de muitos dos conceitos físicos, o que torna tal contato, na maioria das vezes, desafiador, afastando-os do campo das ciências exatas.

Sabemos que a matemática é fundamental para descrever e comprovar fenômenos físicos. Contudo, o ensino da física não pode resumir-se aos estruturantes matemáticos. Não se pode deixar de mostrar aos estudantes como a física está presente no seu cotidiano, a beleza intrínseca às explicações científicas dos fenômenos cotidianos é algo, costumeiramente, negligenciado, inclusive a fundamentação da teoria tomando como atividade meio experimentos, recursos tecnológicos, dentre outras possibilidades essenciais nesse processo, encantando os jovens e incentivando-os a fazer ciência. A física como uma ciência experimental e, como tal, nasce do debruçar-se enquanto espírito inquiridor. A acústica, se destaca neste ponto, tem relação direta com experiências sensoriais sonoras. O som é uma sensação e seu estudo tem sido empreendido não só enquanto ciência, mas também a meio caminho entre a arte e a

tecnologia, tal como nos estudos de paisagens sonoras, protagonizados pelo educador musical canadense Raymond Murray Schafer (SCHAFER, 2001; 2003) e cujos exercícios de escuta e criação de sons (SCHAFER, 2009) têm sido ressignificados no ensino da física a partir de experiências culturais (MONTEIRO JÚNIOR, 2012; ARAÚJO FILHO, 2018; MACIEL NETO, 2019) gestadas a partir da análise crítica das práticas docentes de professores de física, no âmbito do Grupo de Pesquisa em Educação Sonora da UFRPE.

Seguindo esta tradição de pesquisa em ensino, propõe-se em melhorar o processo de ensino e de aprendizagem no campo da acústica, especificamente sobre a velocidade do som. Algo tão fantástico para se mostrar aos estudantes como surgiu, fazendo um levantamento histórico, a forma que se propaga, quais as influências que o meio exerce sobre a sua propagação e sua velocidade, como se medir a velocidade do som por meio de um experimento, algo tão presente na vida do aluno e às vezes não explorado de forma adequada em sala de aula.

Neste sentido, desenvolvemos um produto educacional voltado para a aprendizagem ativa concernente ao estudo teórico e experimental da velocidade do som, intitulado “Sequência didática investigativa baseada nos três momentos pedagógicos para a determinação experimental da velocidade do som”. A aplicação de tal produto numa situação real de ensino busca alcançar os seguintes objetivos:

- Criar uma sequência didática com base nos três momentos pedagógicos, para desenvolver conceitos básicos relativos ao estudo da velocidade do som para os estudantes do 9º ano do ensino fundamental.
- Desenvolver organizadores prévios que facilitem o processo de ensino e de aprendizagem sobre a velocidade do som.
- Dar oportunidade aos estudantes de aplicarem e testarem propostas, utilizando materiais concretos e relacionando com o cotidiano.
- Motivar os alunos a fim de desenvolverem habilidade para atingir as suas respectivas competências no campo da acústica, tanto no mundo acadêmico, quanto no seu cotidiano.

Nos últimos anos está sendo implantado no ensino básico o novo currículo, a BNCC, que tem como o objetivo de desenvolver nos estudantes as habilidades nas áreas do conhecimento. No que se refere ao ensino de ciências nos anos finais, houve uma mudança bem significativa do campo da física, na qual vários conteúdos foram acrescentados, desde o 6º ano até o 9º ano, possibilitando aos alunos um contato com vários conteúdos da disciplina, o que será importante para a aprendizagem da física no ensino médio, desde que seja abordada valorizando teoria, conceitos e experimentos. Algo que seja voltado para o cotidiano, pois a BNCC visa o ensino voltado ao concreto, a fim de facilitar a compreensão por parte de nossos estudantes, possibilitando a criação de competências para o ensino médio e superior. Vale lembrar que as competências são a integração de um conjunto de **conhecimentos, habilidades e atitudes** (CHA) e que o papel do professor deve ser o de valorizar o protagonismo dos estudantes, criando meios de facilitar a aprendizagem significativa.

Nos capítulos que se seguem, apresentamos o percurso de pesquisa e ensino trilhado por nós no desenvolvimento, aplicação e avaliação da eficácia do produto educacional por nós gestado durante o mestrado no polo 58-UFRPE do MNPEF. Nos capítulos um e dois apresentamos uma revisão histórica dos mecanismos de determinação da velocidade do som, bem como uma revisão bibliográfica sobre o tema em cena, realizada nos principais periódicos de ensino de ciências do Brasil, bem como nas atas do SNEF. Nos capítulos três e quatro, apresentamos a fundamentação teórica, tanto com respeito às bases físicas do estudo da velocidade do som, quanto com respeito à fundamentação educacional, a qual se refere à aprendizagem significativa e aos três momentos pedagógicos. No capítulo cinco, apresentamos nosso produto educacional e sua aplicação e, finalmente, no capítulo seis, apresentamos os resultados da aplicação do produto educacional e uma análise conclusiva da pesquisa em ensino realizada.

Capítulo 2 A pesquisa em ensino de física e os mecanismos de determinação da velocidade do som

O estudo da velocidade do som é matéria de pesquisa no ensino de física desde há algum tempo, conforme percebemos numa revisão bibliográfica realizada nos principais periódicos e encontros de pesquisa em ensino de física do Brasil, muito embora sejam poucos os trabalhos publicados sobre o tema.

A fim de realizar um levantamento sobre o tema, realizamos uma revisão que incluiu os periódicos “A Física na Escola”, “Caderno Brasileiro de Ensino de Física”, “Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências”, “Investigações em Ensino de Ciências”, “Revista Brasileira de Ensino de Física” e a “Revista do Professor de Física”, além dos anais do “Simpósio Nacional de Ensino de Física” (SNEF). A tabela a seguir apresenta os resultados desta revisão.

Periódico/Encontro	Número de artigos
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 2.1. Publicações concernentes ao estudo da velocidade do som.

Como podemos ver na tabela 2.1, encontramos dois artigos na revista “A Física na Escola”. No primeiro, intitulado “Medir a velocidade do som pode ser rápido e fácil” (CAVALCANTE, TAVOLARO, 2003), os autores propõem a medição da velocidade do som com a utilização de um diapásio 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.

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 um experimento simples, destinado aos professores do 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.

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 Slynky, 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 variante 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. O quinto artigo (BARAÚNA; FURTADO; PEREZ, 2015) propõe um aparato experimental de considerável baixo custo para medir a velocidade que envolve figuras de Lissajous e tubos ressonantes. Os fenômenos físicos envolvidos no processo possibilitam ao estudante observar e se aprofundar no entendimento de vários conceitos de física ondulatória, bem como discutir o conceito de superposição de movimentos. O sexto artigo, intitulado “Velocidade do som em metais pelo método do tempo de vôo”

(SOUZA JR.; ARAÚJO; KAKUNO, 2020) propõe uma instrumentação, simples de manipular, destinada a aulas experimentais de ensino médio ou de graduação, capaz de determinar a velocidade do som em barras metálicas por meio do tempo de voo, do tempo de propagação de um pulso longitudinal. O pulso é produzido a partir de uma perturbação (choque mecânico) em uma das extremidades de uma barra, sua velocidade é obtida pelo cálculo da razão do espaço percorrido pelo pulso e do tempo de propagação. Encontrou-se para o aço o valor de 4,7 km/s, com 5,3% de incerteza total em relação ao valor teórico referente ao mesmo artigo Souza Jr. et al 2020.

Por fim, encontramos dois trabalhos no Simpósio Nacional de Ensino de Física. O primeiro seria da Determinação da velocidade do som utilizando computadores e celulares (GUIMARÃES et al, 2017), no qual os autores apresentam um procedimento experimental para medir a velocidade de propagação do som no ar com o uso de computadores ou celulares, que dispensa o uso de circuitos elétricos auxiliares. O procedimento proposto para determinar a velocidade do som consiste na relação entre as diferenças entre os intervalos de tempo indicados por diferentes microfones (de computador ou celular) para medições simultâneas de dois eventos sonoros, A e B, produzidos em locais distintos. A e B representam posições distintas para realização do mesmo experimento. O procedimento apresentado neste trabalho permite a determinação da velocidade do som com grande precisão (incertezas relativas nos resultados finais de 0,7 % e de 0,2 %). O segundo artigo (SILVA; AGUIAR, 2011) possui uma perspectiva bem conceitual, buscando ultrapassar as dificuldades de entendimento dos conceitos relativos à propagação do som entre crianças e pessoas mais velhas. O trabalho tem uma proposta de sequência de ensino-aprendizagem sobre a propagação do som que aborda diretamente essas dificuldades com a apresentação aos alunos de questões de múltipla escolha sobre propagação sonora, com opções de resposta que contemplam as concepções prévias. Em seguida, uma sistematização e discussão das respostas e, com bases nas respostas, experimentos são realizados pontuando os conceitos discutidos, finalizando com uma discussão dos resultados.

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 a 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.

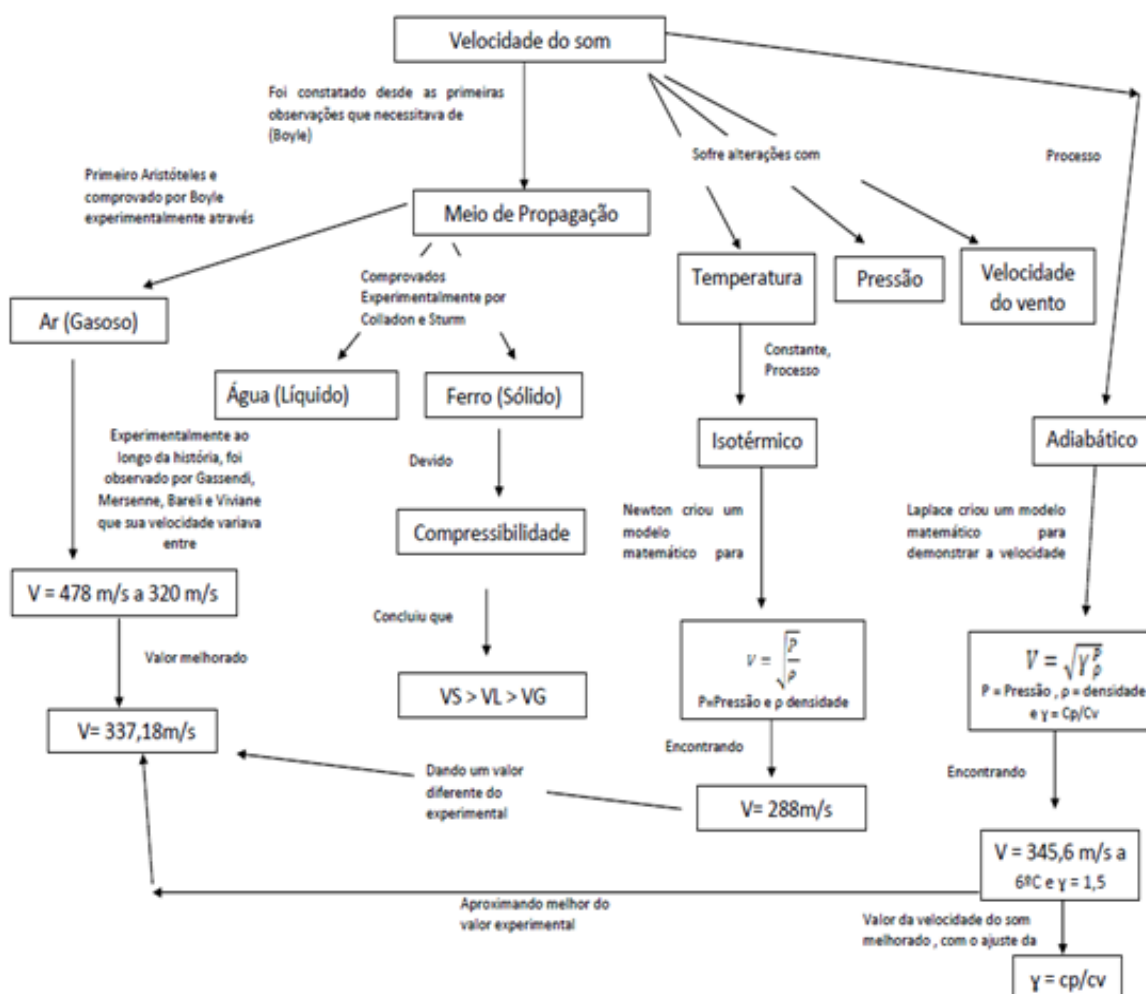
É com este espírito inquietador, baseados na dialogidade freireana (FREIRE, 2019) como caminho de superação da verticalidade, em busca de uma relação professor-aluno mais horizontal, tornando-os, por meio do protagonismo, seres conscientes, ‘estando sendo’ problematizadores do mundo, reconstruindo-o e a si mesmos, a cada passo de superação das dificuldades encontradas no desvelar da realidade. Nesta perspectiva, enxergamos a presente sequência didática enquanto um caminho de transversalidade que pode permitir a problematização do mundo tecnológico e cultural, reconstruindo-o a partir de uma dimensão crítica.

Capítulo 3 Fundamentação Teórica

3.1 Determinação da velocidade do som: um resgate histórico

Desde os primeiros registros históricos foi constatado que 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. 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.

Figura 1 – Mapa Conceitual sobre a Velocidade do som



Fonte: Elaborado pelo autor.

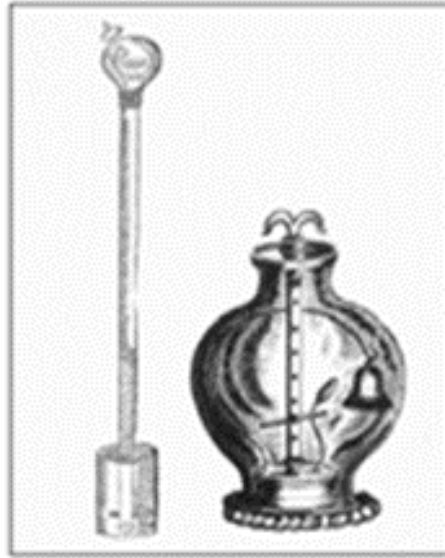
O lado esquerdo do mapa mostra os primeiros registros sobre a velocidade do som. Segundo Lindsay (1973), Aristóteles foi um dos primeiros personagens a perceber que o som se propagava no ar. Para ele, o som emitido por fontes sonoras, como um sino, por exemplo, se propagava através do movimento do ar. 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 acima 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 pro Boyle para este fim.

Figura 2 – Elementos do experimento de Boyle
(Bomba e Recipiente de vidro respectivamente)



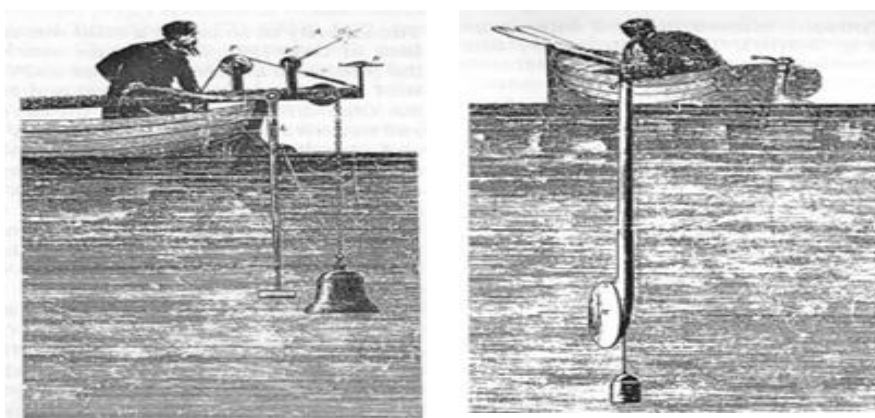
Fonte: <http://www.gradadm.ifsc.usp.br/dados/20142/FFI0210-1/Historia%20da%20Acustica%201.pdf>

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, conseguiu 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 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 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 da figura 3, ao golpear o sino, simultaneamente, explodiam uma pequena quantidade de pólvora no barco da esquerda e, a partir da luz provocada pela explosão,

iniciava uma contagem do tempo até que som percorrido pela água pudesse ser pela pessoa que está no barco da direita. Por meio da determinação experimental do tempo e da distância entre os barcos, pode-se encontrar a velocidade, encontrando o valor de 1438m/s, o qual está muito próximo do valor, que é de 1482m/s a 20°C.

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, devido à compressibilidade do material. Portanto, 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 ρ a densidade, encontrando valores próximos a 288m/s o que está discordante do valor experimental.

Laplace, por sua vez, conseguiu obter valores mais próximos do conhecido atualmente, esse valor, partindo de uma outra hipótese. Considerando o sistema como sendo adiabático, chegou à relação $V = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$, onde P é pressão, ρ a densidade e γ uma constante calculada por meio de c_P e c_V (calores específicos a pressão e volume constante respectivamente), encontrando valor de 345,6 m/s, o qual está bem mais próximo do valor encontrado experimentalmente. Além de encontrar uma relação

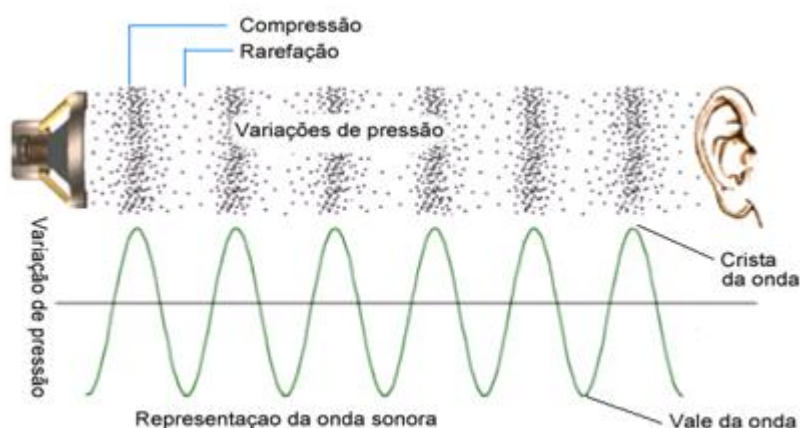
teórica para a velocidade do som, Laplace também determinou de que forma tal velocidade dependia da temperatura, da pressão e da densidade.

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. Na seção seguinte apresentamos um tratamento matemático detalhado para a velocidade do som.

3.2 Análise física da velocidade de propagação do som

As ondas são distúrbios que se propagam e levam sinais de um lugar para outro. Uma onda não transporta matéria e sim energia. Desta forma, podemos considerar o som como um transporte de energia através da vibração longitudinal das partes que compõem esse meio, e é igualmente considerado uma onda mecânica, pois precisa de um meio material para se propagar.

Figura 4 – Propagação do som no ar



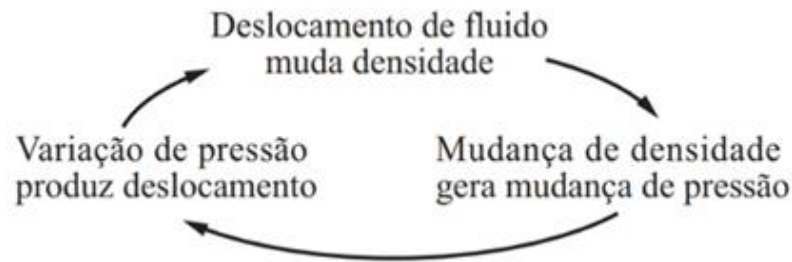
Fonte: <https://www2.santoandre.sp.gov.br/hotsites/sabina/index.php/a-sabina/experimentos/123-pagina-experimento-som-vibracao>

A figura 4 mostra como o som se propaga no ar. Percebemos que as moléculas do gás sofrem compressão e rarefação, provocadas pela variação de pressão causando uma sensação em nosso cérebro. A representação matemática da variação de pressão em função do tempo da onda sonora mostra algumas características das ondas como cristas, vales, comprimento de onda, tendo a possibilidade de calcular sua velocidade por meio da relação 3.1:

$$\lambda = \tau v = v/v \quad (3.1)$$

Contudo, nem toda onda longitudinal que se propaga num fluido é som. Para que seja som, precisa ser audível e, portanto, precisa estar na faixa de frequência para a qual o ouvido humano é sensível. A intensidade mínima de um som para que seja audível depende da sua frequência, variando entre 20Hz e 20.000Hz. Abaixo de 20Hz são considerados infrassons e a cima de 20.000Hz são considerados ultrassons, ambos imperceptíveis ao ser humano, independentemente de sua intensidade. O mecanismo da propagação do som pode, portanto, ser sintetizado no seguinte ciclo

Figura 5 – Mecanismo da Propagação do som



Fonte: Nussenzveig (2014), p.154.

A propagação do som, como mostra o esquema acima, depende da variação da densidade e da pressão. Tais grandezas mudam, provocando o deslocamento da perturbação, a qual, quando possui intensidade e frequência adequadas, são percebidas como som. A seguir será destacada a parte matemática que descreve essas mudanças.

3.2.1 Relação entre pressão e densidade

Vamos analisar, para uma dada mudança de densidade, qual é a mudança de pressão correspondente. Geralmente, para uma dada massa de fluido M , ocupando um volume V , um acréscimo de pressão ($\Delta P > 0$) provoca uma diminuição ($\Delta V < 0$) de volume. Logo teremos que

$$K = - \frac{\Delta V / V}{\Delta P} \quad (3.2),$$

que é conhecido como módulo de compressibilidade do fluido.

O inverso de K é B , e é chamado de módulo de elasticidade volumétrico. Dessa forma:

$$B = \frac{1}{K} = - \frac{\Delta P}{\Delta V / V} \quad (3.3).$$

Sabendo que a densidade ρ do fluido é dada por

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.4),$$

a variação da densidade é dada pela diferença

$$\Delta\rho = -M \frac{\Delta V}{V^2} \rightarrow \Delta\rho = -\rho \frac{\Delta V}{V} \rightarrow \frac{\Delta\rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V} \quad (3.5).$$

Substituindo a equação (3.5) em (3.3), obtemos:

$$B = \rho \left(\frac{\Delta P}{\Delta\rho} \right) \quad (3.6).$$

Numa onda sonora, as variações de pressão e densidade são extremamente pequenas em relação aos valores de equilíbrio dessas grandezas, ou seja, a onda constitui-se de uma pequena perturbação. Sendo p_0 e ρ_0 os valores de equilíbrio da pressão e da temperatura, e P e ρ os valores na presença da onda, teremos:

$$P = p_0 + p \quad \text{e} \quad \rho = \rho_0 + \delta \quad (3.7), \quad \text{onde} \quad |p| \ll p_0, \quad |\delta| \ll \rho_0 \quad (3.8)$$

A variação de pressão máxima de uma onda sonora que ouvido humano pode tolerar, sem provocar sensação de dor, é inferior a um milésimo da pressão atmosférica.

ρ_0 = valor não perturbado (equilíbrio) da densidade

ρ = valor da densidade na presença da onda

p_0 = valor não perturbado (equilíbrio) da pressão

P = valor da pressão na presença da onda

Podemos, portanto, com excelente aproximação, escrever:

$$\frac{p}{\delta} = \frac{P-p_0}{\rho-\rho_0} = \frac{\Delta P}{\Delta\rho} = \left(\frac{\partial P}{\partial\rho} \right)_0 \quad (3.9).$$

O índice 0 indica que a derivada é calculada na posição de equilíbrio da pressão e da densidade, por outro lado, a derivada é parcial pois a pressão não depende apenas da densidade, mas também da temperatura.

A relação entre a pressão P , a densidade ρ (ou o volume V) e a temperatura T , num fluido em equilíbrio, é dada pela equação de estado do fluido. Para um gás ideal, temos:

$$PV = nRT \quad (3.10).$$

No processo isotérmico (temperatura constante), $P = a \cdot \rho$ (3.11), onde a é proporcional a T , a qual é constante no processo isotérmico. Desta forma:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T = a = \frac{P}{\rho} \rightarrow \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{T,0} = \frac{P_0}{\rho_0} \quad (3.12)$$

onde T é mantido constante durante o processo de compressão e expansão.

Segundo Moysés Nussenzveig (2014, p.156), para que a temperatura de uma dada massa de gás se mantenha constante durante tal processo, é preciso que haja trocas de calor com o meio ambiente externo. Se tais trocas não se realizam, seja porque o gás está termicamente isolado, seja porque a compressão ou expansão é relativamente rápida e não há tempo para haver trocas de calor, a temperatura varia.

No processo adiabático, onde não há troca de calor, temos:

$$P = b\rho^\gamma \quad (3.13) \quad \rightarrow \quad \frac{\partial P}{\partial \rho} = b\gamma\rho^{\gamma-1} = \gamma P/\rho \quad (3.14).$$

Sabendo que (3.2.4) é igual a (3.2.7) e $\rho = \rho_0$, temos:

$$B = - \frac{\Delta P}{\Delta V/V} = \rho \left(\frac{\Delta P}{\Delta \rho}\right) = \rho_0 \frac{\partial P}{\partial \rho} \quad (3.15)$$

Para o processo isotérmico, vamos substituir (3.12) em (3.15). Dessa forma:

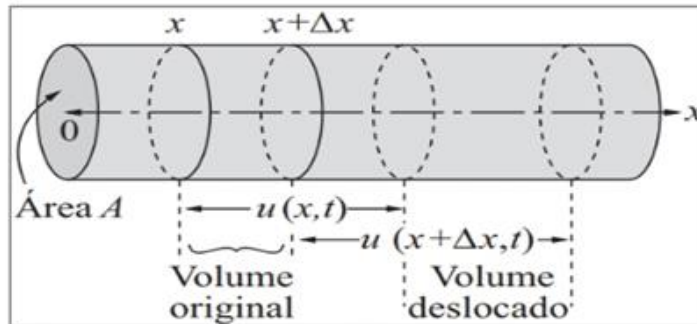
$$B_T = p_0 \quad (3.16)$$

Para o processo adiabático, vamos substituir (3.14) em (3.15). Dessa forma:

$$B_S = \gamma\rho_0 \quad (3.17)$$

3.2.2 Relação deslocamento – densidade

Figura 6 – (Variação do Volume)



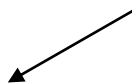
Fonte: Nussenzveig (2014), p.157

A figura a acima mostra o deslocamento $u(x, t)$ do fluído em tubo de área de secção transversal A de coordenadas x no instante t . O volume de ar deslocado do tubo pode ser calculado:

$$V = A[(x + \Delta x) - x] = A \Delta x \quad (3.18)$$

Logo o volume deslocado é:

$$\begin{aligned} V + \Delta V &= A \{ [(x + \Delta x) + u(x + \Delta x, t)] - [x + u(x, t)] \} \quad (3.19) \\ &= A \{ \Delta x + [u(x + \Delta x, t) - u(x, t)] \} \\ &= A \Delta x \left\{ 1 + \left[\frac{u(x + \Delta x, t) - u(x, t)}{\Delta x} \right] \right\} \approx A \Delta x \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \end{aligned}$$



Derivando $\frac{\partial u}{\partial x}(x, t)$

Logo

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

Como $A \Delta x$ é o volume, simplificando a expressão, teremos :

$$\Delta V = A \Delta x \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \quad (3.20)$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \quad (3.21)$$

Utilizando a equação (3.5) e relacionando com (3.19), podemos perceber que :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\partial u}{\partial x}(x, t) = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} = \frac{\delta}{\rho} \approx \frac{\delta}{\rho_0}$$

Por fim, encontramos a relação entre deslocamento e a variação da densidade :

$$\delta = \rho - \rho_0 = -\rho_0 \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \quad (3.22)$$

O sinal negativo mostra que o deslocamento cresce com x ($\frac{\partial u}{\partial x} > 0$), temos uma rarefação no fluido ($\delta < 0$).

3.2.3 Relação pressão – deslocamento

Observado os elementos do cilindro da figura 3, em relação a x e $x + \Delta x$, a massa do fluido pode ser calculada por :

$$\Delta m = \rho \Delta V \approx \rho_0 A \Delta x \quad (3.23)$$

A força resultante sobre esse elemento de massa pode ser obtida através da pressão $P(x, t)$ sobre a face esquerda em x e a face direita $x + \Delta x$ conforme a figura 6. Logo $\Delta F_1 = P(x, t)A$ é a força na face da esquerda e $\Delta F_2 = -P(x + \Delta x, t)A$ a força na face da direita. A força resultante em Δm pode ser calculada da seguinte maneira :

$$\Delta F = \Delta F_1 + \Delta F_2 = [P(x, t) - P(x + \Delta x, t)]A = -A\Delta x \cdot \left[\frac{P(x + \Delta x, t) - P(x, t)}{\Delta x} \right]$$

Teremos:

$$\Delta F = -\Delta V \frac{\partial p}{\partial x}(x, t) \quad (3.24)$$

Aplicando a 2ª Lei de Newton onde a aceleração do volume no instante t é $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x, t)$, teremos a equação do movimento:

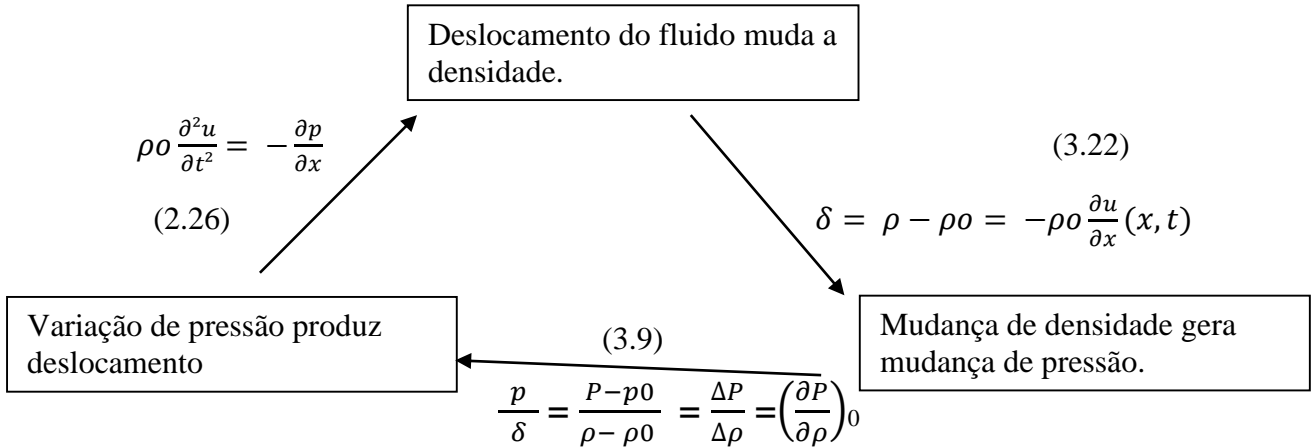
$$\Delta m = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \rho_0 A \Delta x \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta F = -A \Delta x \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.25)$$

Levando à equação de movimento do fluido, que dá a relação entre o deslocamento e a variação da pressão resultando em:

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.26)$$

3.2.4 Velocidade do som

Para obter a equação de propagação das ondas sonoras, vamos recorrer ao mecanismo de propagação do som construído ao longo das secções acima. Tomando como referência o mecanismo da figura 2 e encaixando as equações, obtemos a representação abaixo:



Substituindo (3.22) em (3.9) teremos :

$$p = -\rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_0 \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \quad (3.23)$$

Derivando esta expressão em relação à x, teremos:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_0 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \quad (3.24)$$

Comparando com (2.24) com (2.26), obtemos:

$$\frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_0 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \quad (3.25)$$

em que podemos escrever a equação de onda para deslocamento das partículas do meio

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} = 0 \quad (3.26)$$

com a velocidade de propagação da onda dada por:

$$v = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_0} \quad (3.27)$$

que é a velocidade do som no fluido. Derivando (3.26) em função x em ambos os membros, percebemos que a ordem das derivadas parciais são as mesmas. Logo, as variações de densidade e pressão também obedecem à mesma equação de onda quando comparamos (3.9) com (3.22).

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0 \quad (3.28)$$

3.2.5 Velocidade do som nos gases.

Na secção (3.12) vimos que para o processo isotérmico T é mantido constante durante o processo de compressão e expansão.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{T,0} = \frac{P_0}{\rho_0}$$

Substituindo em (3.27), teremos: $v = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{0,T}} = v = \sqrt{\frac{p_0}{\rho_0}}$ (3.29)

A velocidade do som no ar para um processo isotérmico pode ser calculada com a equação (3.29) obtida por Newton, encontrando valores aproximados para velocidade de 280m/s, um pouco longe dos valores experimentais. Contudo, o modelo de Laplace se aproximou mais dos valores experimentais, pois as compressões e expansões numa onda sonora são tão rápidas que não dá tempo para que a temperatura se uniformize. Não chega a ter trocas de calor, ou seja, o processo é adiabático. Para um modelo adiabático teremos na equação (3.14)

$$\frac{\partial P}{\partial \rho} = b\gamma\rho^{\gamma-1} = \gamma P/\rho$$

Substituindo em (3.27), teremos:

$$v = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{s,0}} \quad v = \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \quad (3.30)$$

Utilizando a equação (3.30), podemos calcular o valor da velocidade do som no ar considerando o meio adiabático, no qual a previsão teórica se aproximou bastante do valor experimental. Levando em conta uma dada massa de um gás e números de mols relacionando com a equação (3.10) teremos:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{m}} \quad (3.31)$$

3.2.6 Velocidade do som na água e na corda.

Comparando as equações $v = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)}$ (3.27) com $B = \rho \left(\frac{\Delta P}{\Delta \rho}\right)$ (3.6), podemos obter a equação da velocidade do som na água e na corda. Substituindo (3,6) em (3.27) teremos:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}} \quad (3.32),$$

onde $B = \frac{\Delta\rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V}$, como mostra na seção (3.5). Logo, podemos calcular a velocidade do som na água através do modelo acima, sendo B a propriedade elástica e ρ a propriedade inercial.

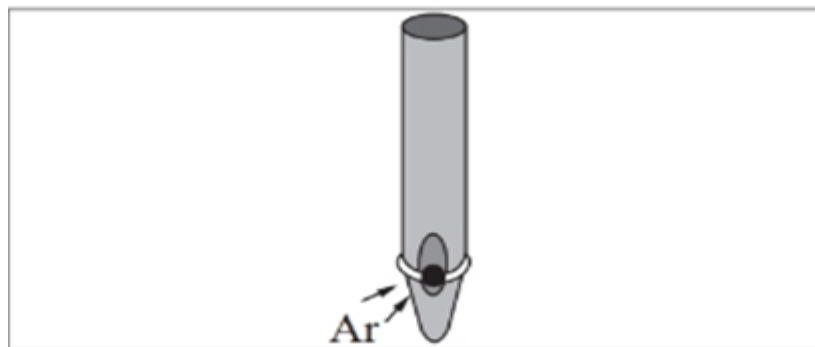
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (3.33)$$

Daí obtemos a velocidade do som na corda.

3.2.7 Colunas de Ar

Uma onda harmônica pode ser gerada em um tubo, sendo o corpo sonoro de vários instrumentos musicais. Na figura abaixo temos como fonte o pistão oscilante, gerando ondas harmônicas em tubo de ar. As regiões de alta e baixa pressão estão mostradas pelas figuras abaixo.

Figura 7 – (Tubo de Órgão)

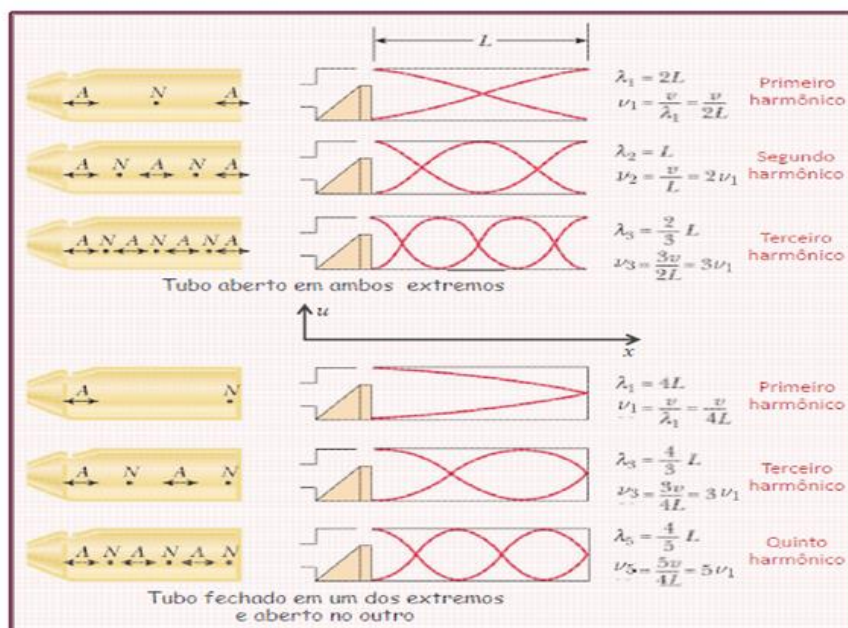


Fonte: Nussenzveig (2014), p.168.

A entrada de ar pela abertura de um tubo de órgão gera um antinodo (máximo) de deslocamento. Se a outra extremidade do tubo estiver fechada, o deslocamento se anula nessa extremidade (nodo de deslocamento). Como a onda de pressão está em quadratura com a onda de deslocamento ou seja defasadas de 90° , uma extremidade fechada corresponde a um antinodo de pressão.

Ondas sonoras estacionárias podem ser geradas por colunas de ar. Elas são resultado da interferência entre ondas longitudinais sonoras se propagando em sentidos contrários. No caso de ondas estacionárias, o sistema pode ter um grande conjunto de frequências naturais e pode exibir grandes amplitudes quando direcionadas, pela força externa, em qualquer de suas frequências naturais. Essas frequências são conhecidas como frequências de ressonância como mostra a figura 8.

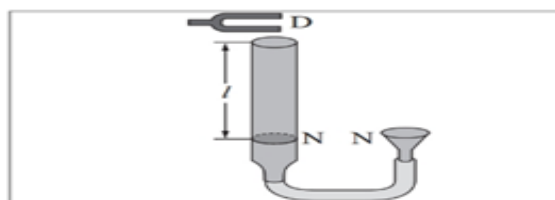
Figura 8 – (Modos normais de um tubo de órgão.)



Fonte: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/293293/mod_resource/content/1/FisII_2015_som_Lucy_I O.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/293293/mod_resource/content/1/FisII_2015_som_Lucy_I_O.pdf)

A verificação experimental destes resultados pode ser feita por meio de um experimento de ressonância, como mostra a figura 9. Um diapasão vibrante D, de frequência ν conhecida, excita ondas sonoras numa coluna de ar, contida num tubo cilíndrico de vidro, com água na parte inferior. Faz-se variar o comprimento l da coluna variando o nível N da água no tubo. A 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 $\lambda = v/\nu$ e v é a velocidade do som no ar. A ressonância é detectada pelo reforço considerável produzido na intensidade sonora. Medindo l , pode-se determinar λ e, por conseguinte, v . A superfície da água atua como uma parede e este aparato representa um tubo fechado em uma das extremidades.

Figura 9 – (Tubo de ressonância.)



Fonte: Moyses Nussenzeig Física Básica Vol.2, p.169.

O experimento possibilita calcular a velocidade do som no ar, de maneira clara e objetiva, fazendo um relação com teoria da aprendizagem significativa e metodologias que facilitem o processo de ensino aprendizagem podemos ter o avanço nas aulas de física.

4 Aprendizagem Significativa

A teoria da aprendizagem significativa foi desenvolvida por David Ausubel na década de 1960. Possuía formação em medicina e psicologia, e dedicou-se, em seu doutoramento no curso de psicologia, a uma visão cognitiva da psicologia educacional.

A teoria da aprendizagem significativa considera que a aprendizagem é um processo pelo qual uma nova informação é ancorada a uma estrutura cognitiva prévia, conhecida como subsunçor de forma não-literal e não arbitrária. Estes conteúdos prévios deverão receber novos conteúdos que, por sua vez, poderão modificar e dar outras significações àquelas já existentes, facilitando o processo de ensino aprendizagem. Conforme destaca Moreira (1999), este é um dos alicerces da teoria:

O fator isolado que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe (cabe ao professor identificar isso e ensinar de acordo). Novas ideias e informações podem ser aprendidas e retidas, na medida em que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem às novas ideias e conceitos. (MOREIRA, 1999, p.152).

Para Moreira (1999), na teoria de Ausubel, o conhecimento prévio é algo essencial para a ocorrência de uma aprendizagem significativa. Identificá-los é de fato importante para que os alunos ancorem o novo conhecimento, e ao perceber que esses conhecimentos prévios não estão organizados, a mesma teoria sugere que os professores possam elaborar organizadores prévios que são atividades (vídeo, resumo, aula motivadora) que tem como objetivo de organizar, consolidar conhecimentos base para ancorar novos conceitos.

Trata-se de uma teoria construtivista, que valoriza a interação entre professor e aluno, onde o papel do professor é motivar o aluno, para que o mesmo tenha desejo de aprender. A teoria da aprendizagem significativa destaca a importância de um material potencialmente significativo para o processo de ensino e de aprendizagem.

Entretanto, podem existir situações em que os estudantes não possuam subsunçores relacionados aos novos conceitos, e, nesses casos faz-se necessário introduzi-los por meio da aprendizagem mecânica. Aqui vale destacar que, para a teoria, a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica não são opostas. É perpassada uma visão de continuidade em que o que se aprende, inicialmente, por meio de uma

aprendizagem mecânica, depois torna-se significativa. O que diferencia uma da outra são os processos cognitivos mobilizados, pois quando se fala em aprendizagem significativa se destaca a interação dos subsunçores com os novos conhecimentos, e a aprendizagem mecânica acontece praticamente sem interação com os conhecimentos já presentes na estrutura cognitiva.

Muitas vezes, pelo fato de serem introduzidos conhecimentos por meio da aprendizagem mecânica, com técnicas de memorização, o estudante não relaciona a outros conhecimentos, e acaba esquecendo. Então, quando o professor percebe que esses conhecimentos prévios dispostos pelos estudantes não tem a possibilidade de ancorar ou de se relacionar aos novos, ele pode se utilizar de um instrumento denominado organizadores prévios. Estes têm a função, como dito acima, de interligar ou preencher aquilo que o aluno já sabe ao que ele precisará conhecer.

Organizadores prévios são materiais introdutórios, apresentados antes dos conteúdos a serem aprendidos. Eles servem de ancora para nova aprendizagem e levam ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. (MOREIRA, 1999,p.155).

Os organizadores prévios podem ser atividades práticas, gestadas a partir de situações problema do cotidiano do aluno, recursos desenvolvidos por meios tecnológicos, como utilização de simuladores para serem manipulados, jogos (gameficação), textos, esquemas, mapas conceituais, slides, dentre outros.

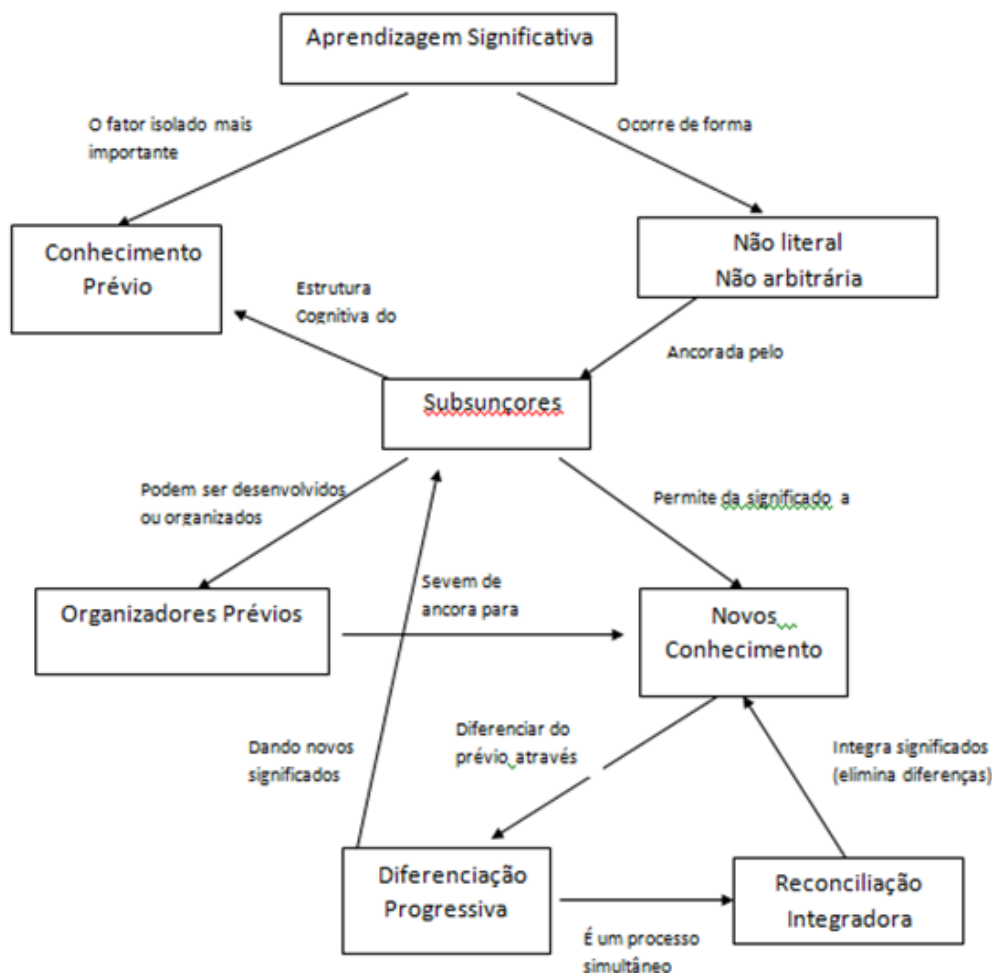
Outro aspecto importante da aprendizagem significativa, e que está também atrelado aos organizadores prévios, é a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Ambos os conceitos são processos cognitivos.

A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor, resultantes da sucessiva utilização deste subsunçor para dar significado a novos conhecimentos. A reconciliação integradora é o processo da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistência e integrar significados. (MOREIRA 2012, p.6).

Na diferenciação progressiva o estudante vai diferenciar os significados dos conhecimentos prévios em relação aos novos, em termos de detalhes e especificidades. Contudo, ao passo que o estudante faz essa diferenciação e o confronto entre os

conhecimentos prévios e novos, ele também faz a reconciliação integradora, ou seja, ele acolhe e percebe que esses conceitos se interligam, possuem propriedades comuns. A diferenciação progressiva e a reconciliação integradora são processos que ocorrem simultaneamente, mas que podem ser percebidos em intensidades distintas (MOREIRA, 2012).

Figura 10– Mapa Conceitual da Aprendizagem Significativa

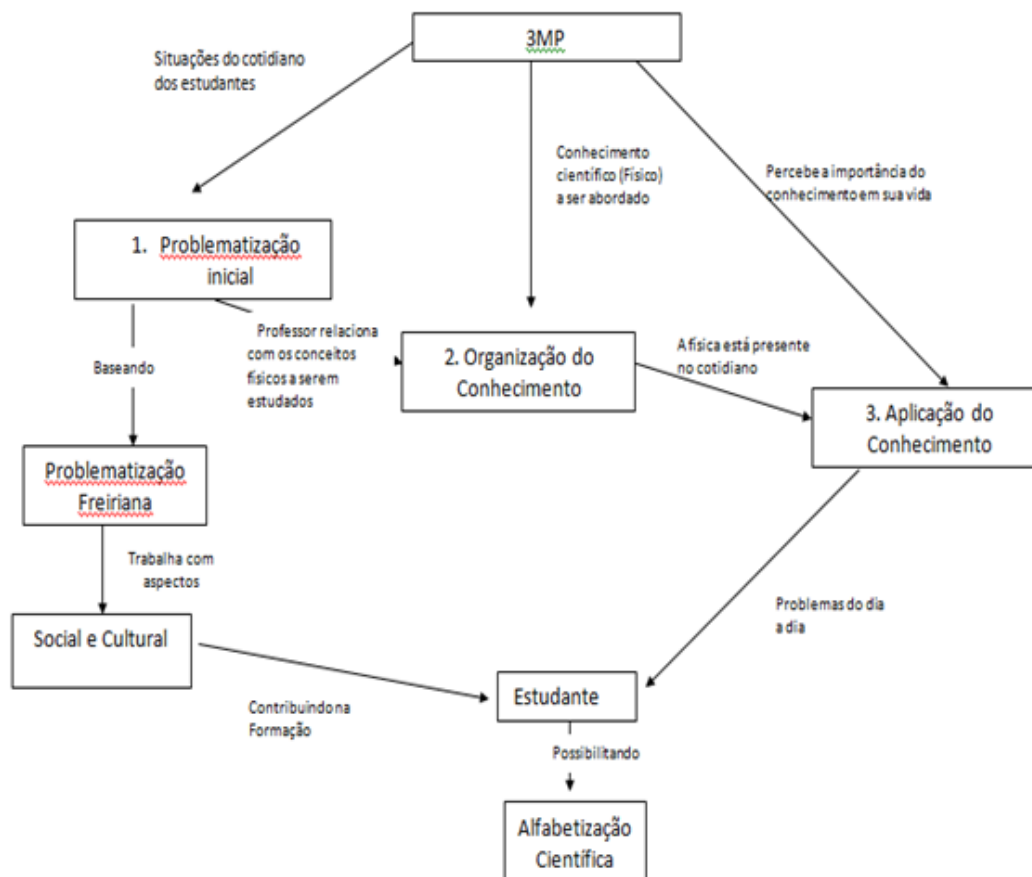


Fonte: Elaborado pelo autor

O mapa da figura 10 mostra o processo da aprendizagem significativa, destacando os elementos principais dessa teoria, que nos auxilia no processo de ensino e de aprendizagem, mostrando a importância de identificar em nossos alunos o conhecimento prévio. Algo que será fundamental nesse trabalho junto com organizadores prévios, pois é algo que pode motivar os alunos a aprenderem. Trabalhar com experimento é algo que os alunos gostam muito e esse será um dos organizadores prévios utilizados no nosso produto educacional.

4.1 Os três momentos pedagógicos

Figura 11– Mapa Conceitual dos três momentos pedagógicos



Fonte: Elaborado pelo autor

O mapa acima mostra a estrutura dos três momentos pedagógicos proposta por Demétrio Delizoicov. Os momentos pedagógicos estruturam-se da seguinte maneira:

1º momento: Problematização inicial

A problematização inicial se situa no domínio das situações do cotidiano do aluno. Segundo Delizoicov:

A problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque, provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29)

A partir da problematização inicial proposta por Delizoicov, podemos identificar em nossos alunos os conhecimentos prévios necessários à ancoragem dos novos conteúdos e a forma como estão postos na análise existencial das suas relações com o mundo, postas como problemas, obstáculos a serem superados.

2º momento: Organização do conhecimento

Em cima dos conhecimentos levantados a partir da problematização inicial, o professor os relaciona com o conhecimento a ser ensinado, pontuando suas propriedades e definições, onde os conhecimentos prévios ancoram os novos conhecimentos. É importante ressaltar que nesse 2º momento os alunos terão a orientação do professor para desenvolverem atividades relacionadas ao tema abordado.

Do ponto de vista metodológico, para o desenvolvimento desse momento, o professor é aconselhado a utilizar as mais diversas atividades, como: exposição, formulação de questões, texto para discussões, trabalho extraclasse, revisão e destaque dos aspectos fundamentais, experiências. (DELIZOICOV, MUENCHEN, 2014a – p.8)

Tanto a utilização de experimentos com a orientação do professor, quanto o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa realizados pelo alunos, serão essenciais, nesse momento, para construção do conhecimento científico, onde o estudante assumirá o protagonismo.

3º momento: Aplicação do Conhecimento

Sabemos da importância do conhecimento para o ingresso nas universidades, mercado de trabalho, dentre outros. Contudo, é importante ressaltar sua aplicação no cotidiano. Dessa forma, o aluno compreende mais a ciência e sua importância, mudando suas concepções, tendo opinião própria, tornando-se um ser crítico. Segundo Demétrio Delizoicov, a aplicação do conhecimento

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento. Desta forma, “pode-se evitar a excessiva dicotomização entre processo e produto, física de ‘quadro-negro’ e física da ‘vida’”. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 31).

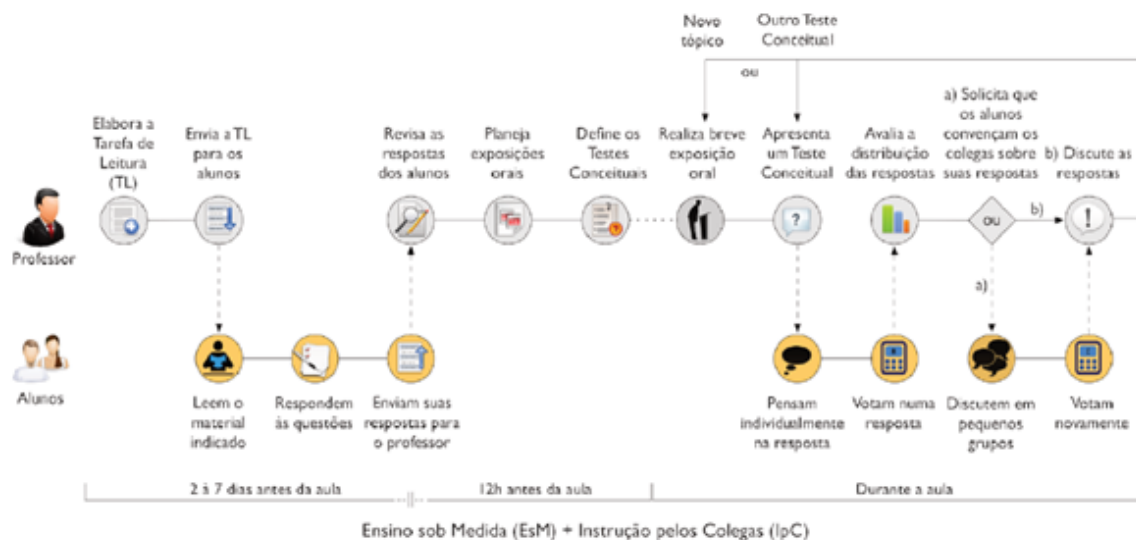
Os três momentos pedagógicos de Delizoicov têm como referência os trabalhos de Paulo Freire, que buscam a transformação social e cultural a partir da educação. Nesta perspectiva, o conhecimento científico deve servir para transformar sujeitos passivos em ativos, visões mecânicas em visões críticas, tornando-nos agentes transformadores a partir da alfabetização científica, onde esse conhecimento pode fazer diferença na vida de cada um e na sua comunidade.

4.2 Ensino sob Medida (EsM) ou (Just -in-TimeTeaching)

O ensino sob medida é a metodologia ativa (STUDART, 2019) que tem o objetivo de preparar uma aula a partir do feedback dos alunos com respeito a atividade inicialmente proposta. Tal atividade inicial pode ser uma leitura de um texto, uma pesquisa, dentre outros. 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 prévio dos alunos.

O Ensino sob Medida (EsM), foi proposto em 1996 pelo professor Gregory M. Novak e colaboradores, com o objetivo de utilizar a tecnologia para melhorar a aprendizagem de ciências em sala de aula. O EsM foi projetado para desenvolver a habilidade de trabalho em grupo entre os estudantes e a capacidade de comunicação oral e escrita (NOVAK *et al.*, 1999; GAVRIN, *et al.*, 2004), dando responsabilidades aos alunos pela sua própria aprendizagem e aumentando a retenção de conhecimento dos conteúdos a longo prazo. (OLIVEIRA, 2015, p.185)

Figura 12– Linha do tempo do Ensino sob Medida e da Instrução pelos colegas para uma determinada aula

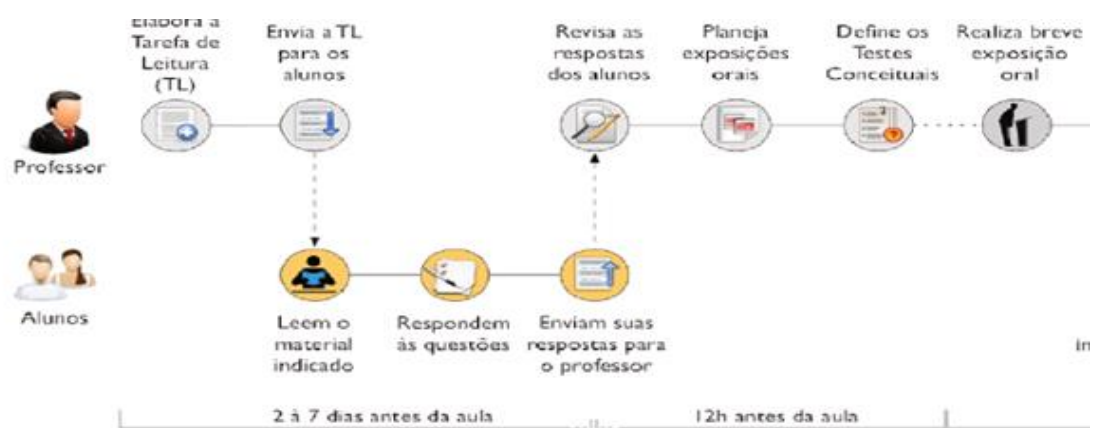


Fonte: Oliveira et al 2015, p.187.

A figura 12 ilustra a estrutura do ensino sob medida, mediado pelo professor, bem como a etapa de interação entre os alunos, denominada instrução pelos pares ou pelos colegas.

No nosso produto educacional utilizamos apenas a primeira parte da estrutura ilustrada na citada figura, qual seja a parte do ensino sob medida, como ilustrado na figura 13.

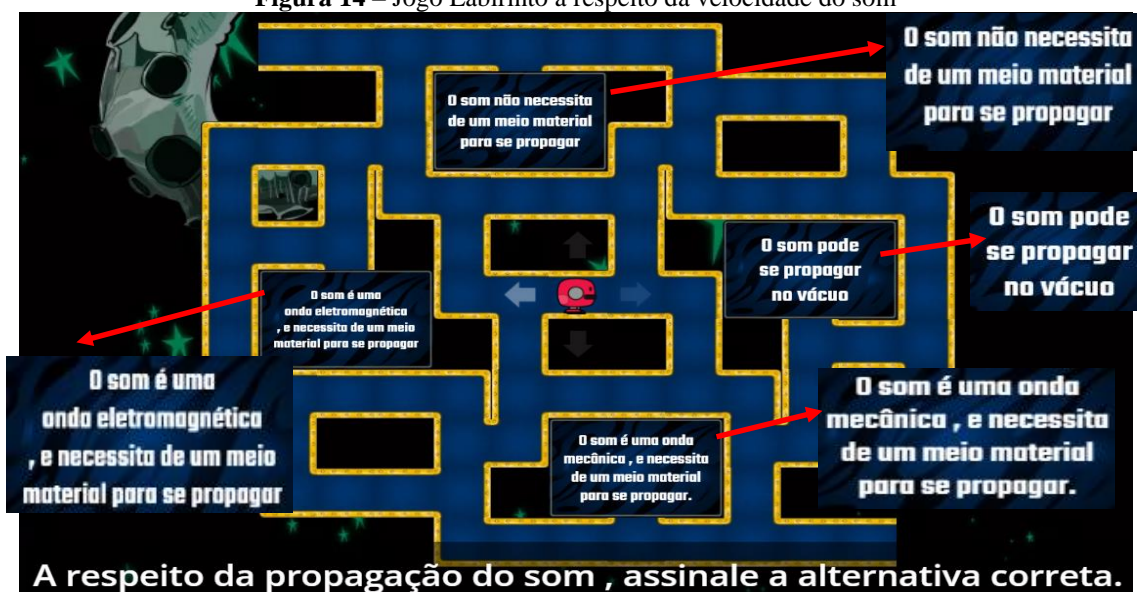
Figura13 – Linha do tempo do Ensino sob Medida



Fonte: Oliveira et al 2015, p.187.

Ao analisar a linha do tempo, percebemos que o tempo de análise do questionário pode ser menor se utilizarmos alguma ferramenta de compilação tal como o Google forms, pois o mesmo gera uma análise nas respostas muito rápida, de forma que permite ao professor o acesso às respostas de forma organizada e, em cima delas, reparar as aulas. Outro recurso interessante que podemos utilizar para enviar o questionário eletrônico juntamente com a atividade é o Wordwall, o qual permite veicular o questionário por meio de um recurso de gameificação, tornando a atividade lúdica, aumentando o interesse e participação dos alunos. Além disso, tal ferramenta gera gráficos e dados das respostas individuais de cada aluno, podendo ser entendido como um interessante organizador prévio, permitindo ao professor identificar os conhecimentos prévios dos alunos, como ilustrado na figura 14.

Figura 14 – Jogo Labirinto a respeito da velocidade do som



Fonte: <https://wordwall.net/pt/resource/15114779/f%3c%adsica-no-cotidiano-prof-jo%3c%a3o-pessoa>

4.3 Conteúdos e habilidades trabalhados no produto educacional

A BNCC (BRASIL, 2018) propõe a importância de problematizar e aplicar os conhecimentos da física em nosso cotidiano, assim como incentivar a aplicação de tecnologia e materiais manipulativos, permitindo a construção de conteúdos e habilidades que o estudante deve adquirir para desenvolver competências. Tais recomendações estão contempladas em nosso produto educacional, na medida em que, além de todo o arcabouço teórico referente ao estudo físico da propagação do som, propomos, ainda, o desenvolvimento de habilidades da construção e utilização de aparatos experimentais para a medição da velocidade do som, bem como habilidades relativas à medição e socialização dos dados por meio de recursos computacionais.

A BNCC propõe ainda um estudo bem mais detalhado da física a partir do ensino fundamental, com conceitos, propriedades e aplicabilidade ao mundo real. Pensando na importância de desenvolver o estudo das ciências físicas, mais especificamente do estudo da velocidade do som, nosso produto foi gestado para ser utilizado em turmas do nono ano do ensino fundamental, valorizando a aprendizagem de conceitos, a manipulação de aparatos experimentais, bem como a utilização de ferramentas tecnológicas ou manipulativas para melhorar o processo de ensino e de aprendizagem. No 2º ano do ensino médio, o aluno revisita esse conteúdo, agora com uma base mais sólida, o que pode permitir aprofundamento. A habilidade presente na BNCC (EF09CI05) para o ensino fundamental, referente ao estudo da velocidade do som, busca

Investigar os principais mecanismos envolvidos na transmissão e recepção de imagem e som que revolucionaram os sistemas de comunicação humana. (BRASIL, 2018, p. 351)

No que tange à habilidade relacionada ao ensino médio (EM13CNT103), a BNCC aponta para a importância de tratar o tema de forma interdisciplinar, envolvendo física, química e biologia, como podemos observar abaixo:

Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica. (BRASIL, 2018, p. 341)

De acordo com tal habilidade, podemos destacar o conhecimento sobre ondas eletromagnéticas e mecânicas, estando o som dentro do estudo das ondas mecânicas. Podemos, ainda, trabalhar o som e suas características no 2º ano do ensino médio, aprofundando mais o conhecimento do som e de sua propagação.

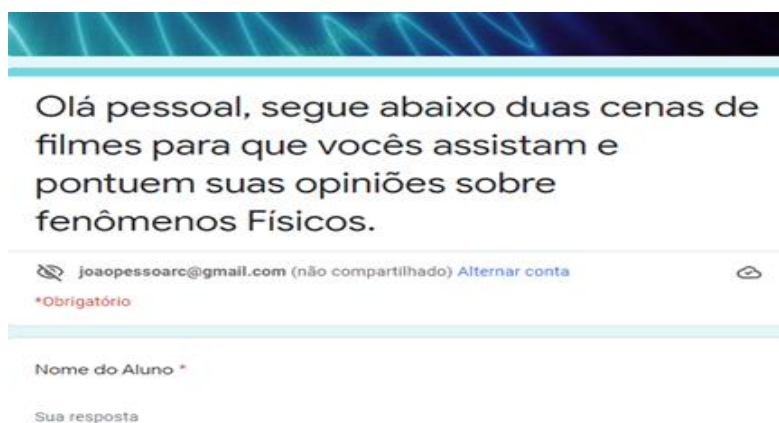
5 Aplicação do produto educacional

Nosso produto foi aplicado no início de novembro de 2021, em uma turma do 3º ano do ensino médio da Escola Regina Coeli, rede privada, localizada na Avenida Severino Pinheiro, no município de Limoeiro/PE. Muito embora o produto educacional tenha sido gestado tanto para aplicação presencial, quanto remota, tivemos a oportunidade 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.

Como dissemos na seção anterior, nosso produto nasceu do diálogo entre os conhecimentos prévios dos alunos, os três momentos pedagógicos de Delizoicov e o ensino sob medida, o qual consiste numa metodologia que visa o conhecimento prévio, as problematizações do cotidiano e os ajustes por meio de uma metodologia ativa, valorizando o protagonismo dos estudantes e a aprendizagem significativa.

A partir de uma problematização inicial utilizaremos cenas de dois filmes que retratam explosões, tiros e choques entre destroços no espaço, a fim de sondar alguns possíveis conhecimentos prévios sobre propagação do som. Utilizamos o Google forms, com esses vídeos e questionário. As figuras 15, 16 e 17 mostram os questionamentos feitos por meio da observação das cenas.

Figura 15 – Questionário Inicial (Problematização Inicial)



Olá pessoal, segue abaixo duas cenas de filmes para que vocês assistam e pontuem suas opiniões sobre fenômenos Físicos.

joapessoarc@gmail.com (não compartilhado) Alternar conta

*Obrigatório

Nome do Aluno *

Sua resposta

Fonte: Google forms

Figura 16 – Problematização 1

1) Observe logo abaixo parte do trecho do filme Star Wars Episódio III. A Vingança dos Sith.

Sua resposta _____



A partir das observações do trecho do filme que mostra uma batalha espacial onde tiros sonorizados de lasers e explosões tomam conta do cenário. De acordo com as Leis da Física (Acústica), seria possível o som dessa batalha ser percebido como retrata o filme? Como você poderia explicar? *

Fonte: Google forms, https://www.youtube.com/watch?v=W58igM_zQO4&t=67s

Figura 17 – Problematização 2

2) O filme Gravidade retrata a história de Matt Kowalski (George Clooney) que é um astronauta experiente que está em missão de conserto ao telescópio Hubble juntamente com a doutora Ryan Stone (Sandra Bullock). Ambos são surpreendidos por uma chuva de destroços decorrente da destruição de um satélite por um míssil russo, que faz com que sejam jogados no espaço sideral. Sem qualquer apoio da base terrestre da NASA, eles precisam encontrar um meio de sobreviver em meio a um ambiente completamente inóspito para a vida humana. Logo abaixo tem um trecho do filme que mostra impactos entre objetos no espaço.

Sua resposta _____



Com base nas observações do vídeo, analisando os impactos entre os destroços, é percebido que não há barulho ou seja não existe som desses impactos. Se baseando nas Leis da Física (acústica), seria possível isso ocorrer ou foi um erro físico mostrado nessa cena? Qual sua opinião em relação a essas observações?

Fonte: Google forms, <https://www.youtube.com/watch?v=gXIQrL6tNno>

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. Observamos que 17 alunos da turma até a data estipulada responderam

ao questionário de forma bem satisfatória para começarmos a aplicar nosso produto. A seguir apresentamos as dezessete respostas dos alunos, referentes à problematização 1.

1. *Falso, o som é uma onda mecânica e longitudinal logo ele precisa de um meio para se propagar, e o espaço onde se passa o filme é a atmosfera (vácuo), ou seja, ele não pode ser propagado no mesmo.*
2. *Sim, pois as ondas do som se propagam em meios gasosos, então pode sim o som ser percebido.*
3. *Não. O som é uma onda mecânica, ou seja, precisa de um meio material para se propagar. Como a batalha ocorre no espaço, é impossível que o som seja percebido, já que neste ambiente existe o vácuo - ausência de matéria - e, conseqüentemente, essa onda não conseguiria se propagar.*
4. *Não, porque o som (ondas) não se propaga no vácuo, isto pois uma onda para ser propagada precisa de meios (átomos) para poderem reverberar.*
5. *Não seria possível, pois o laser por ser luz não emite som*
6. *Não. O som é uma onda mecânica, sendo assim, precisa de um meio material para se propagar, já que é uma batalha espacial não teria esse meio.*
7. *Não seria possível o som dessa batalha ser percebido. Pois, o som é uma onda mecânica e precisa de um meio material para se propagar. Como o cenário retratado é o espaço (vácuo) essas ondas sonoras não se propagam, visto que não tem, no vácuo, um meio material para que essas ondas se propaguem, impossibilitando a percepção do som.*
8. *Não. Para haver a propagação de ondas mecânicas é necessário um meio material para o transporte de energia. Já no espaço que está em meio a um imenso vácuo, só é possível a propagação de ondas eletromagnéticas, sendo só perceptível a propagação de luz.*
9. *Não, pois o som não se propaga no espaço, que é um meio vácuo*
10. *Não seria possível escutar o som da batalha. Esse aspecto do filme é apenas uma ficção, já que o som não se propaga no vácuo. O som precisa de um meio para se propagar.*
11. *Não, pois o som não se propaga no vácuo*
12. *Não! Pois o som não se propaga no vácuo*
13. *Não, pois a onda mecânica precisa de um meio pra se propagar, e como é espaço é vácuo não se propaga.*
14. *Não. O som não se propaga no vácuo.*
15. *Não, porque o som não se propaga no espaço.*
16. *Não, pois o som não se propaga no vácuo*
17. *Não, porque o som precisa de um meio pra se propagar, não se propagando no vácuo.*

Percebemos que dentre as 17 respostas, apenas um apontou que era possível a propagação do som no espaço, de forma fisicamente incorreta. É interessante perceber que a origem do erro não está em achar que o som se propaga no vácuo, mas que há gases no espaço onde ocorrem as cenas. A seguir apresentamos as dezessete respostas referentes à problematização 2.

1. *Está certíssimo, pois o som precisaria de um meio para ser propagado até o ouvido do observador, como por exemplo no dia a dia em que o ar o traz até nosso tímpano, já na atmosfera que tem o vácuo não se propagaria, resultado em um não recebimento do som ao ouvinte*
2. *Não é possível, então foi um erro físico, pois o som também se propaga em meios sólidos*
3. *O som é uma onda mecânica, ou seja, necessita de um meio físico para se propagar. A cena do filme ocorre no espaço sideral, onde possui o vácuo - que é a ausência de matéria. Como esse ambiente não apresenta meios materiais, torna-se impossível a propagação da onda sonora. Sendo assim, conclui-se que o ocorrido no filme é sim possível, e que o mesmo está obedecendo as leis da física, em relação a acústica.*
4. *Seria possível isso ocorrer, pois faz sentido de que não haja som já q n há atmosfera. Portanto não existindo onde as ondas se propagarem não existe som/barulho*
5. *É possível sim, pois o som é uma onda mecânica e precisa de um meio para se propagar ou seja não se propaga no vácuo*
6. *Não foi um erro físico, o som não se propaga no vácuo. Esse outro filme segue mais as leis da física, já o primeiro utiliza mais o imaginário.*
7. *É possível sim isso ocorrer, visto que essa cena acontece no espaço (vácuo). Logo, não foi um erro físico. Minha opinião é que esse filme foi retratado seguindo as Leis da Física, no sentido de que, no vácuo, as ondas mecânicas (sonoras) não se propagam, pois essas precisam de um meio material, ou seja, um meio de propagação, coisa que não existe no vácuo (espaço).*
8. *Na minha opinião foi correta a escolha de não haver som a partir do choque entre os destroços pelo fato de não poder se propagar ondas mecânicas no espaço por estar no vácuo e não em um meio material (sólido, líquido ou gasoso).*
9. *O filme quis mostrar a realidade que seria, pois está correta o som não se propaga no espaço, que é um meio vácuo. Agora é possível escutar os astronautas, pelo fato de eles estarem com essa roupa que contém gás oxigênio, quando as ondas sonoras são liberadas, captada pelo microfone que é transmitida em forma de ondas eletromagnéticas, passando as informações ditas para os demais companheiros.*
10. *Essa representação é verdadeira, já que o som precisa de um meio para se propagar e não consegue se propagar no vácuo.*
11. *É fisicamente possível, pois o som não se propaga no vácuo e o filme está de acordo*
12. *Sim, seria possível! Pois no espaço existe o vácuo e o som não se propaga nesse ambiente*
13. *Está certo, pois como eu disse em cima não se propaga som no universo, por causa do vácuo.*
14. *Verdadeiro. Mostra a realidade que o som não se propaga no espaço.*
15. *É possível ocorrer, pois o som não se propaga no espaço.*
16. *Seria, pois o espaço tem a presença do vácuo*
17. *É possível, porque o som precisa de um meio pra se propagar. Concordo, pois pra que os cientistas tirassem essas conclusões eles fizeram experimentos.*

Na segunda problematização, percebemos as mesmas características da primeira. Apenas um aluno pontuou de forma cientificamente incoerente e os demais com respostas bens relevantes. É interessante notar que ambos os deslizes foram do mesmo

aluno. No caso da segunda problematização, o aluno toma como pressuposto que o som está se propagando no material que compõem as naves espaciais, corroborando com a análise feita por nós a respeito da resposta à primeira problematização.

Após as respostas das problematização iniciais, percebemos que nas aulas seguintes muitos alunos começaram a trazer questionamentos sobre outros filmes, mostrando inquietações e uma percepção diferente da física à nossa volta. Alguns comentando como a física está presente em nossas vidas. Como diz Freire (1996, p.21), “Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.” O que enxergamos aqui é que a experiência vivenciada pôs novas lentes em seus olhos, possibilitando enxergar o mundo de outra forma.

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. 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. Seguem abaixo as perguntas do jogo a respeito do som e suas características das figuras 18 a 25, e na figura 26 os desempenho dos estudantes.

Figura 18 – Desafio 1 (Jogo)



Fonte: Wordwall

Figura 19 – Desafio 2 (Jogo)



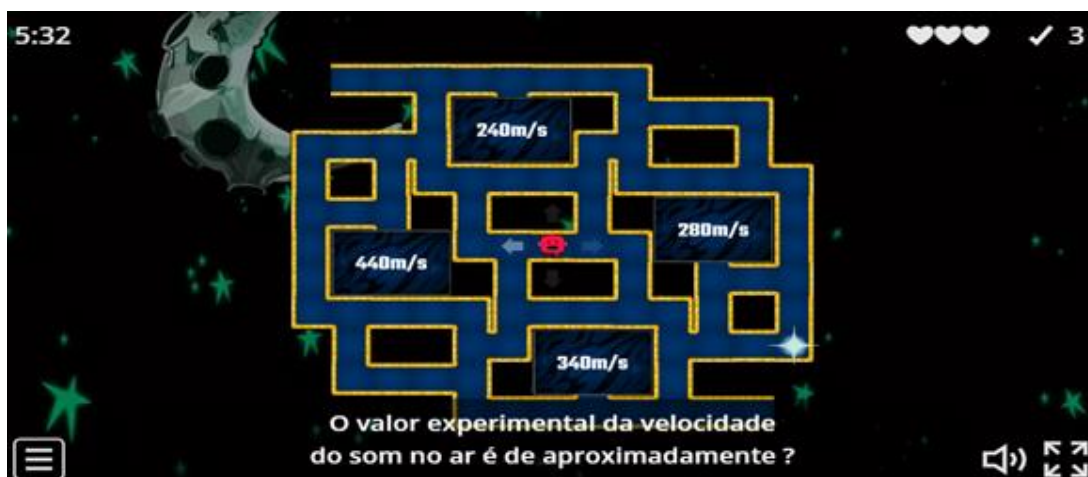
Fonte: Wordwall

Figura 20 – Desafio 3 (Jogo)



Fonte: Wordwall

Figura 21 – Desafio 4 (Jogo)



Fonte: Wordwall

Figura 22 – Desafio 5 (Jogo)



Fonte: Wordwall

Figura 23 – Desafio 6 (Jogo)



Fonte: Wordwall

Figura 24 – Desafio 7 (Jogo)



Fonte: Wordwall

Figura 25 – Desafio 8 (Jogo)



Fonte: Wordwall

Figura 26 – Resultado do Jogo



Fonte: Wordwall

Com base no jogo e por meio dos resultados gerados pela própria ferramenta, podemos 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.

O segundo momento da nossa sequência consistiu de duas aulas experimentais que 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. Nesse segundo momento, aplicamos os experimentos já citados nesse trabalho, quais sejam as práticas 1 (figuras 27, 28 e 29) e 2 (figuras 30, 31 e 32) . Neste momento, os alunos não só montaram os aparatos, mas também realizaram as atividades, coletaram dados e fizeram anotações. Inicialmente, dividimos a turma em cinco grupos, onde cada grupo recebeu o material de apoio explicando toda a prática.

Figura 27 – Grupo 4



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 28 – Grupo 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 29 – Grupo 3



Fonte: Elaborado pelo autor

As figuras 27, 28 e 29 acima mostram etapas da prática 1, realizadas pelos grupos 2, 3 e 4, em que o objetivo foi o de que os estudantes percebessem que o som necessita de um meio para se propagar. Para tanto, foi testado o pote hermético com uma bexiga e foi percebido pelos alunos que seu volume aumentava com a diminuição da pressão, na medida em que o ar foi retirado, constatando a rarefação criada no interior do recipiente. Em seguida, os alunos destamparam o recipiente e, na medida em que o ar entrava, a bexiga voltava ao seu volume inicial. Na sequência, colocaram a caixinha de som ligada dentro do recipiente, vedaram-no e, retirando o ar de dentro do pote pela bomba geradora de vácuo, perceberam que o som diminuiu consideravelmente, provando que o som necessita de um meio para se propagar, no caso o ar. Os alunos ficaram encantados, pois o que tinham visto apenas em teoria, estava ali, em frente aos seus olhos. Já a luz, que é uma onda eletromagnética, continuava com praticamente a mesma intensidade, possibilitando o que Ausubel denomina diferenciação progressiva, uma vez que a onda eletromagnética não necessita de um meio material para se propagar. Ao final do experimento, os 5 grupos responderam duas questões, quais sejam:

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?

As respostas dadas a estas questões, bem como a análise de tais respostas estão no capítulo 5 da presente dissertação.

Na mesma aula os grupos realizaram a prática 2, para a determinação da velocidade do som no ar por meio do tubo ressonante. 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 o som ficava mais intenso ao aproximar o celular na extremidade do cano, anotando os valores em cm. As figuras 30, 31 e 32 ilustram momentos desta segunda atividade experimental.

Figura 30 – Grupo 5



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31 – Grupo 1



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 32 – Grupo 5



Fonte: Elaborado pelo autor

Nas figuras 30 e 31 foram feitas as medidas de l que corresponde a um ventre, e sabendo que um ventre vale $\lambda/4$, onde $l = \lambda/4$, pode-se calcular o comprimento de onda, figura 32 ilustra a fase de cálculos. A frequência utilizada no experimento pelo aplicativo no celular foi a de 440Hz, correspondendo à frequência de um diapasão afinado em Lá. Convertendo o comprimento de onda para metro, os alunos encontraram a velocidade do som no ar bem próxima ao valor de 340m/s, a partir da relação $v = \lambda \cdot f$. A figura 33 mostra as anotações e os cálculos feitos pelo grupo 1 a partir dos valores anotados na tabela 2, mencionada nessa dissertação.

Cada grupo realizou as quatro medidas do valor de l e, em seguida, tirou a média e multiplicou por 4. O grupo 1 obteve o valor do comprimento de onda $\lambda =$

70,8cm. Transformando para metro e multiplicando pela frequência de 440Hz, obteve o valor de 311,52m/s, o qual pode se considerado um valor bem próximo do valor da velocidade do som no ar. Podendo ter um valor mais próximo se melhorar as medidas do comprimento l , como mostra a prática do grupo 2 na figura 36, obtendo um valor de 330.88m/s. Os demais grupos obtiveram valores bastante significativos, próximos também.

Figura 33 – Dados experimental da prática 2 (Grupo 1)

Aula Experimental de Física

1. **Medindo o Comprimento (L) do ventre e o comprimento de onda λ . Para determinar a velocidade do som no ar.**

	Medidas de L	$\lambda = L \cdot 4$ Comprimento de Onda de um ventre	Frequência	$v = \lambda \cdot f$ Valor experimental da velocidade do som no ar
1 ^a	17,5cm		440Hz	
2 ^a	18cm		440 Hz	
3 ^a	18,3cm		440Hz	
4 ^a	17,7cm		440Hz	
<i>Média</i>	17,7 cm	0,708m		311,52m/s

$$M = 17,5 + 18 + 18,3 + 17 / 4 = 17,7 \text{ cm}$$

$$\lambda = 4 \times 17,7 = 70,8 \text{ cm ou } 0,708 \text{ m}$$

$$V = \lambda \cdot f$$

$$V = 0,708 \cdot 440$$

$$V = 311,52 \text{ m/s}$$

Grupo 1

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse segundo momento, organizamos, juntamente com os estudantes os conceitos sobre o som e suas características, com aulas experimentais, nas quais evidenciamos os fenômenos físicos que estão a nossa volta. Sentimos que os alunos gostaram bastante, pois os mesmos realizaram toda a prática, aprendendo de forma significativa, lúdica, participativa, onde o protagonismo foi valorizado. Esta percepção nos fez lembrar de um minicurso proferido pelo Prof. Marco Antônio Moreira, num encontro do MNPEF, ofertado pela SBF, por meio do seu canal no canal do You Tube, ocorrido no final de novembro de 2021. Em tal minicurso, o professor Moreira falou da

importância das experimentações nas aulas de física, fator importantíssimo para a aprendizagem. Este é um dos fatores que levam os estudantes a optarem futuramente a fazerem ciência na formação superior. Ao final da prática, muitos alunos se colocaram, dizendo que as aulas de física tinham que ser sempre nesse formato. Essa geração gosta de colocar a mão na massa, pois o aluno aprende bastante de forma significativa e levando em consideração o protagonismo, outro elemento bastante citado pela BNCC e o Novo Ensino Médio.

No terceiro momento promovemos um debate, no qual pontuamos a importância da ciência, apontando como ela está presente em nosso cotidiano, bem como valorizamos a importância de compreendê-la para nossa evolução enquanto seres conscientes no mundo em constante transformação. Nesse momento, fizemos um resgate de todos os conceitos abordados sobre o som e propomos aos grupos a construção de um mapa conceitual sobre o tema estudado. Para tanto, foi dado um exemplo de um mapa conceitual organizador de outro conteúdo da física, no caso sobre refração da luz. Neste exemplo, falamos sobre as características dos mapas conceituais, apontando algumas estratégias de como se construir um mapa e todos os grupos desenvolveram seus mapas sobre o som e suas características, o que consistiu na ferramenta de avaliação da sequência didática, bem como da aprendizagem dos estudantes. A figura 34 ilustra o momento em que os alunos discutem sobre a construção do mapa.

Figura 34 – Grupo 4 (Construção do Mapa)



Fonte: Elaborado pelo autor

Capítulo 6 Resultados e Conclusão

6.1 Resultados

Com base nas observações da aplicação do produto e depoimento dos alunos, percebemos a importância de trabalhar a física de uma maneira mais concreta, por meio de aparatos ou simuladores experimentais, dando significado à teoria. Aqui quando falamos de aparatos, temos a plena consciência que tais aparatos não falam sozinho. Não é apenas ter um laboratório a condição suficiente para a melhoria do ensino da física. Precisamos ter também professores bem formados, comprometidos com um ensino de física significativo, ligado à realidade dos estudantes e voltado para a alfabetização científica.

Por meio da construção e aplicação do nosso produto, ficou evidenciada a satisfação dos alunos ao término, algo que me chamou bastante a atenção e necessidade de fazer com uma maior frequência essas aulas. Os resultados da aplicação do produto foram muito satisfatórios, onde começamos com uma problematização inicial a partir de cenas de filmes como foi citado nos capítulo 5. 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 feita de forma remota devido a pandemia, nos mostrou que, mesmo assim, tivemos ótima participação e grande interesse dos envolvidos. Em seguida foram realizadas as aplicações das atividades práticas 1 e 2. Neste período, a 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.

Na prática 1, todos os grupos realizaram o experimento de forma bem satisfatória, obtendo êxito na sua aplicação. No final, cada grupo teria que responder dois questionamentos sobre a prática, os quais estão transcritos a seguir.

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?

Com base prática, onde os alunos reproduziram o experimento de Boyle com base na figura 2, as respostas foram as seguintes:

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 um meio para se propagar, já a luz é um exemplo de onda eletromagnética, ou seja, não precisa de um 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 se 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.*

Analisando as respostas dos grupos, destacamos a importância da aula experimental para construção do conhecimento ao ver o alinhamento das respostas com respeito à precisão conceitual referente às características do som, pontuando as ondas mecânica, e eletromagnética, onde os alunos souberam diferenciar um 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 uma meio material para se propagar, satisfazendo o que era proposto na prática e alcançando todos os objetivos. Ao qual foi pontuado na prática 1 que a onda eletromagnética também se propaga em meios materiais e que são oscilações formadas por campos elétrico e magnéticos variáveis que se propagam tanto no vácuo quanto em meios matérias.

Já na prática 2, os alunos teriam que desenvolver habilidades da aplicação da equação geral da onda, aplicada a tubos sonoros ressonantes, para comprovação da velocidade do som no ar. Todos os grupos desenvolveram a proposta de uma maneira muita 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, para que os estudantes se sintam mais motivados nessa parte do conhecimento que é tão necessária para descrever os fenômenos e tentar aproximar cada vez mais o aluno da disciplina. As figuras abaixo mostram os resultados dos grupos na prática 2.

Figura 35 – Dados experimental da prática 2 (Grupo 1)

Aula Experimental de Física

1. Medindo o Comprimento (L) do ventre e o comprimento de onda λ . Para determinar a velocidade do som no ar.

	Medidas de L	$\lambda = L \cdot 4$ Comprimento de Onda de um ventre	Frequência	$v = \lambda \cdot f$ Valor experimental da velocidade do som no ar
1ª	17,5cm		440Hz	
2ª	18cm		440 Hz	
3ª	18,3cm		440Hz	
4ª	17,7cm		440Hz	
Média	17,7 cm	0,708m		311,52m/s

$$M = 17,5 + 18 + 18,3 + 17 / 4 = 17,7\text{cm}$$

$$\lambda = 4 \times 17,7 = 70,8 \text{ cm ou } 0,708\text{m}$$

$$V = \lambda \cdot f$$

$$V = 0,708 \cdot 440$$

$$V = 311,52 \text{ m/s}$$

Grupo 1

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 36 – Dados experimental da prática 2 (Grupo 2)

Aula Experimental de Física

1. Medindo o Comprimento (L) do ventre e o comprimento de onda λ . Para determinar a velocidade do som no ar.

	Medidas de L	$\lambda = L \cdot 4$ Comprimento de Onda de um ventre	Frequência	$v = \lambda \cdot f$ Valor experimental da velocidade do som no ar
1ª	18,3cm		440Hz	
2ª	19,6cm		440 Hz	
3ª	18cm		440Hz	
4ª	19,3cm		440Hz	
Média	18,8cm	0,752m		V = 330,88m/s

$$M = 18,3 + 19,6 + 18 + 19,3 / 4 = 18,8 \text{ cm}$$

$$\lambda = 4 \times 18,8 = 75,2 \text{ cm ou } 0,752 \text{ m}$$

$$V = \lambda \cdot f$$

$$V = 0,752 \cdot 440$$

$$V = 330,88 \text{ m/s}$$

Grupo 2

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 37 – Dados experimental da prática 2 (Grupo 3)

Aula Experimental de Física

1. Medindo o Comprimento (L) do ventre e o comprimento de onda λ . Para determinar a velocidade do som no ar.

	Medidas de L	$\lambda = L \cdot 4$ Comprimento de Onda de um ventre	Frequência	$v = \lambda \cdot f$ Valor experimental da velocidade do som no ar
1ª	18,3cm		440Hz	
2ª	17,7cm		440 Hz	
3ª	17,6cm		440Hz	
4ª	17,8cm		440Hz	
Média	17,85cm	0,714m		314,16m/s

$$M = 18,3 + 17,7 + 17,6 + 17,8 / 4 = 17,85 \text{ cm}$$

$$\lambda = 4 \times 17,85 = 71,4 \text{ cm ou } 0,714 \text{ m}$$

$$V = \lambda \cdot f$$

$$V = 0,714 \cdot 440$$

$$V = 314,16 \text{ m/s}$$

Grupo 3

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 38 – Dados experimental da prática 2 (Grupo 4)

Aula Experimental de Física

1. **Medindo o Comprimento (L) do ventre e o comprimento de onda λ . Para determinar a velocidade do som no ar.**

	Medidas de L	$\lambda = L \cdot 4$ Comprimento de Onda de um ventre	Frequência	$v = \lambda \cdot f$ Valor experimental da velocidade do som no ar
1ª	18cm		440Hz	
2ª	18cm		440 Hz	
3ª	17,5cm		440Hz	
4ª	17,9cm		440Hz	
<i>Média</i>	17,85cm	0,714m		314,16m/s

$$M = 18+18+17,5+17,9/4 = 17,85cm$$

$$\lambda = 4 \times 17,85 = 71,4 \text{ cm ou } 0,714m$$

$$V = \lambda \cdot f$$

$$V = 0,714 \cdot 440$$

$$V = 314,16m/s$$

Grupo 4

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 39 – Dados experimental da prática 2 (Grupo 5)

Aula Experimental de Física

1. **Medindo o Comprimento (L) do ventre e o comprimento de onda λ . Para determinar a velocidade do som no ar.**

	Medidas de L	$\lambda = L \cdot 4$ Comprimento de Onda de um ventre	Frequência	$v = \lambda \cdot f$ Valor experimental da velocidade do som no ar
1ª	18cm		440Hz	
2ª	18,2cm		440 Hz	
3ª	18,1cm		440Hz	
4ª	18,3cm		440Hz	
<i>Média</i>	18,15cm	0,726m		319,44m/s

$$M = 18+18,2+18,1+18,3/4 = 18,15cm$$

$$\lambda = 4 \times 18,15 = 72,6 \text{ cm ou } 0,726m$$

$$V = \lambda \cdot f$$

$$V = 0,726 \cdot 440$$

$$V = 319,44m/s$$

Grupo 5

Fonte: Elaborado pelo autor

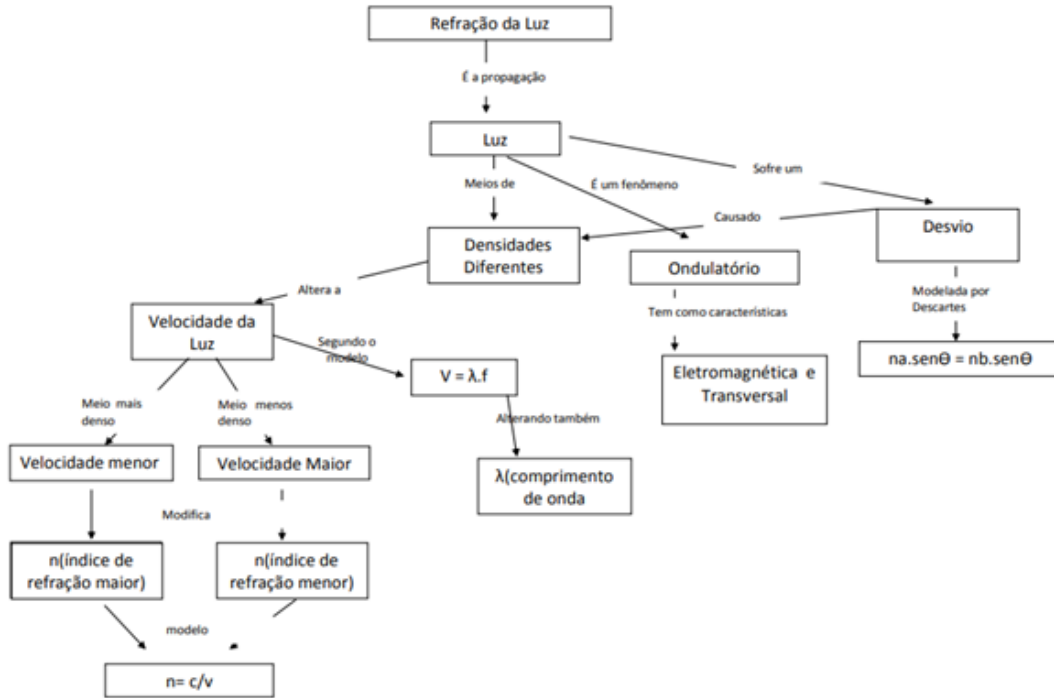
Como podemos ver nas figuras 35, 36, 37, 38 e 39, todos os grupos chegaram a valores que, muito próximo embora possuam pequenos desvios em relação ao valor de referência que pode ser encontrado na literatura, entre si, o desvio foi desprezível. Os grupos encontraram, para a velocidade do som no ar, os valores 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 o 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.

Na parte final da aplicação do produto, na qual se deu o terceiro momento pedagógico, associado ao ensino sob medida, fizemos uma reflexão sobre todos os conceitos e habilidades trabalhados, onde cada grupo colocou seu ponto de vista sobre a prática, ressaltando a importância de aulas atrativas com uso de jogos, experimentos e discussões, algo que possibilitou que muitas informações pudessem ser ancoradas nas suas estruturas cognitivas, pois quando o aluno relaciona a aprendizagem de um conteúdo com seu cotidiano, pode tornar esta aprendizagem significativa. No debate, essas colocações ficaram bem claras por parte dos estudantes, e o que chama 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. Foi dado um exemplo de um mapa de refração da luz (figura 40) para os alunos entenderem como se dá o processo de construção e a importância dessa ferramenta na organização da estrutura cognitiva de determinados conteúdos, além de permitir ao professor compreender como um aluno ou grupo de alunos organizaram a rede de conteúdos de habilidades trabalhados. As figuras 41, 42, 43, 44 e 45 mostram os mapas conceituais construídos, respectivamente, pelos grupos 1, 2, 3, 4 e 5. Como podemos ver nas figuras, os alunos compreenderam bem como elaborar um mapa, e começaram a rascunhar na aula, como mostra a figura 34, e como tarefa de casa e

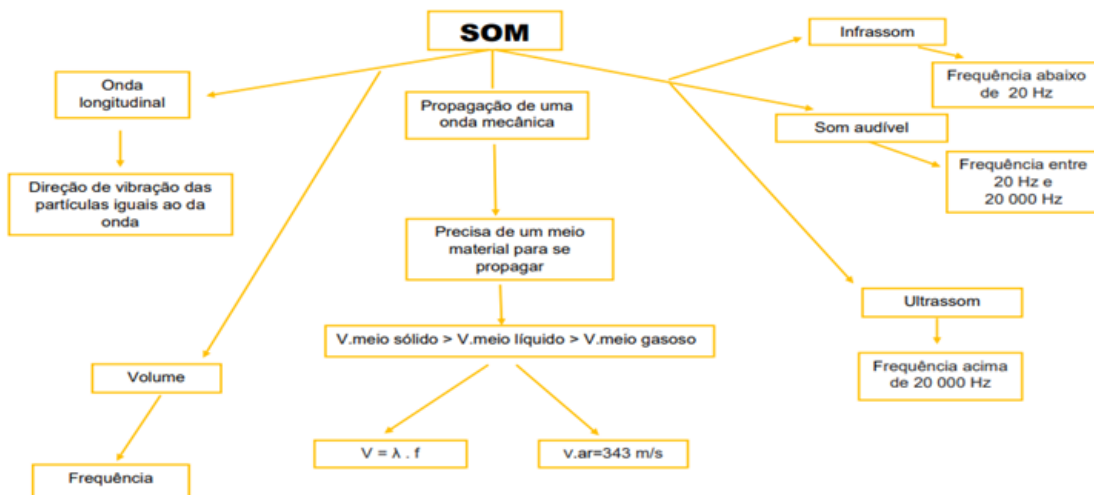
avaliação de todo processo os grupos desenvolveram os mapas propostos como fase final de todo o trabalho.

Figura 40 – Mapa Conceitual sobre Refração (exemplo para os estudantes)



Fonte: Elaborado pelo autor

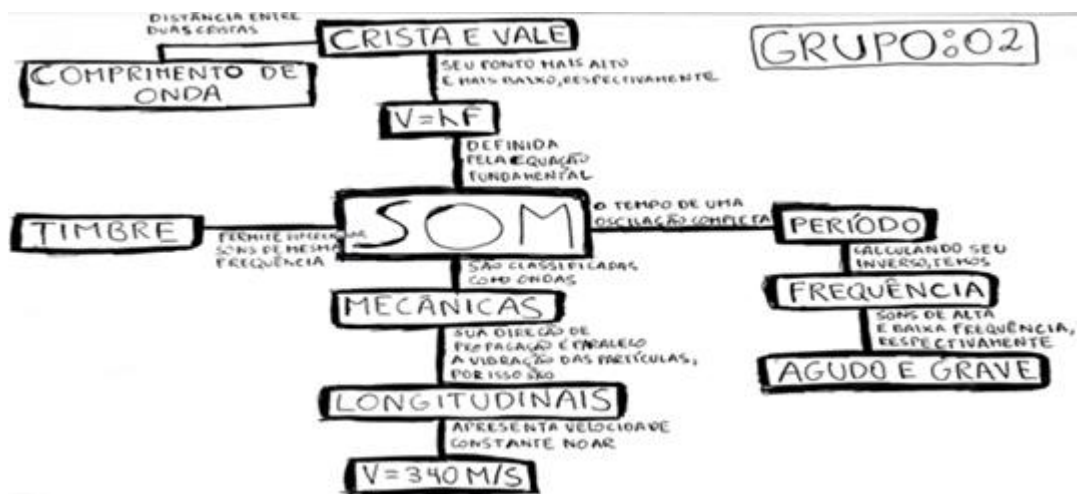
Figura 41 – Mapa Conceitual (Grupo 1)



Grupo 1

Fonte: Elaborado pelos alunos do grupo 1

Figura 42 – Mapa Conceitual (Grupo 2)



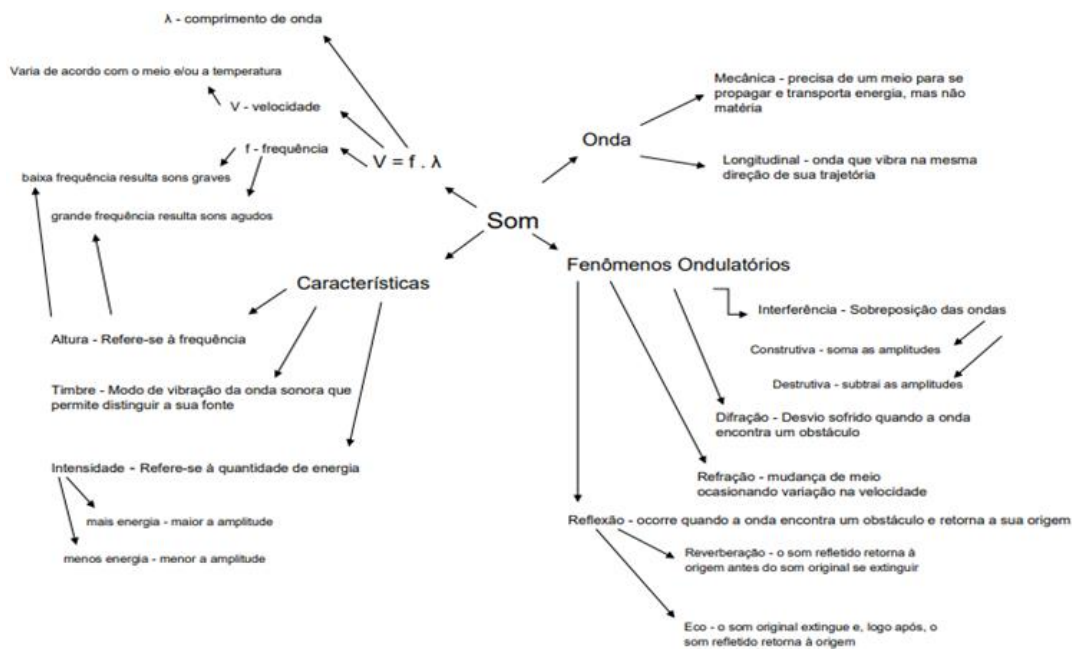
Fonte: Elaborado pelos alunos do grupo 2

Figura 43 – Mapa Conceitual (Grupo 3)



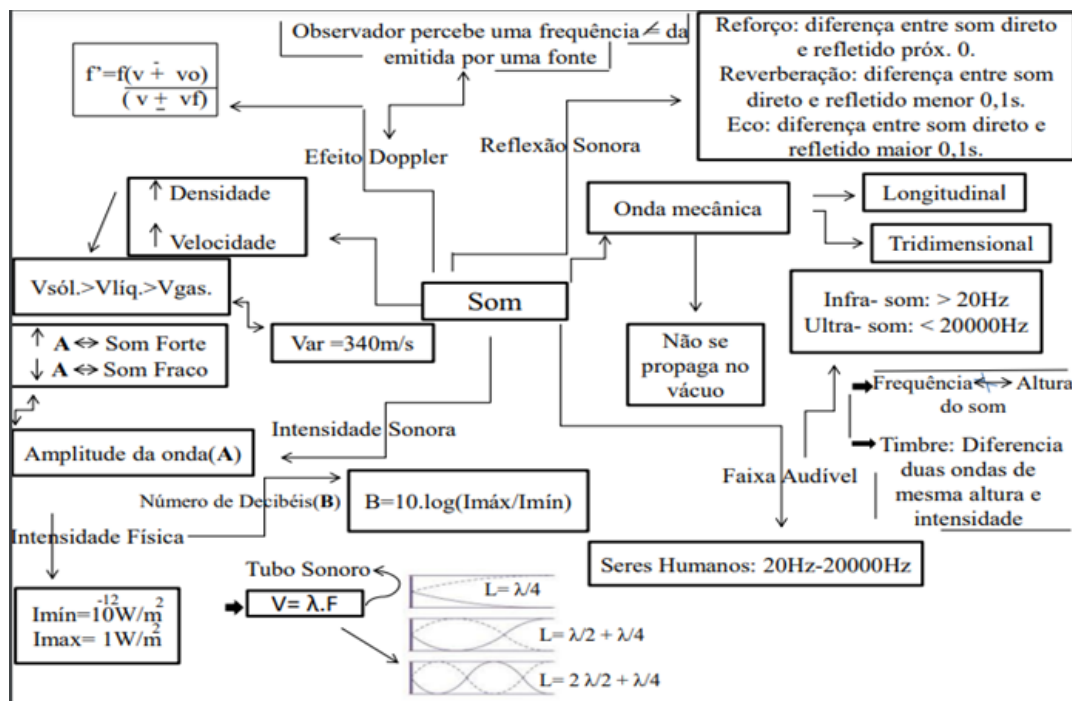
Fonte: Elaborado pelos alunos do grupo 3

Figura 44 – Mapa Conceitual (Grupo 4)



Fonte: Elaborado pelos alunos do grupo 4

Figura 45 – Mapa Conceitual (Grupo 5)



Fonte: Elaborado pelos alunos do grupo 5

Como foi proposto para os grupos a construção de mapas conceituais sobre as aulas experimentais e conceituais como ferramenta avaliativa, percebemos que os mapas tiveram um alinhamento diante de que foi proposto. Alguns grupos foram um pouco além, inserido vários elementos que foram abordados nas aulas. Os resultados foram surpreendentes, pois foi o primeiro mapa realizado pela turma e percebemos a organização das informações e, diante do que foi proposto, percebemos uma incrível ferramenta para avaliação da construção do conhecimentos, os quais parecem ter se consolidado na estrutura cognitiva dos estudantes, no debate.

6.2 Conclusão

Com bases em todos os dados da aplicação desse produto, percebemos uma aprendizagem significativa, que foi muito além de decorar formulas e aplicá-las. Pudemos perceber protagonismo, reflexão em torno do que estavam realizando, seja de forma teórico, 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 ao estudantes a liberdade necessária para crescerem conceitualmente, procedimentalmente e epistemologicamente.

Outra fala de 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 Bibliográficas

ARAÚJO FILHO, J. V. **Sequência de ensino por investigação significativa no estudo das relações entre física e música em atividades experimentais envolvendo o oscilador de Melde**. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2018. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 24 ago 2021.

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.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

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 ultra-sônicas e a determinação da velocidade do som no ar através do eco. **A Física na Escola**, v. 12, n. 2, 2011. eISSN 1983-6430.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

FREIRE, P. R. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2019. ISBN: 978-85-7753-418-0.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia**- saberes necessários à prática educativa. São Paulo:Paz e terra,1996.

GRALA, R. M.; OLIVEIRA, E. S. Medida da velocidade do som no ar com o uso do microcomputador. **A Física na Escola**, v. 4, n. 1, 2003. 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.

MACIEL NETO, A. S. **Sequência didática para a aprendizagem significativa da acústica física e da acústica musical, relativas aos tubos sonoros, utilizando organizadores prévios e atividades experimentais com o tubo de Kundt**. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2019. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 24 ago 2021.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N. **Educação sonora: encontro entre ciências, tecnologia e cultura**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Bauru/SP, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102066>>. Acesso em: 24 ago 2021.

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

MOREIRA, Marco Antônio. **I Encontro Nacional do MNPEF**. Conferência de Abertura, Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=isR9a8dD_Cs&t=1304s> Acesso em: 22 nov. 2021.

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

OLIVEIRA, V.; VEIT, E. A.; ARAÚJO, I. S. Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching) e Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 180-206, abr. 2015.

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.

SCHAFER, R. M. **A afinação do mundo** - uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora. Tradução: Marisa Trench de Oliveira Fonterrada. São Paulo: Editora da UNESP, 2001. ISBN 85-7139-353-2.

_____. **O ouvido pensante**. 2 ed. Tradução: Marisa Trench de Oliveira Fonterrada, Magda R. G. da Silva e Maria Pascoal. São Paulo: Editora da UNESP, 2003. ISBN 85-7139-016-9.

_____. **Educação Sonora**: 100 exercícios de escuta e criação de sons. Tradução: Marisa Trench de Oliveira Fonterrada. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2009. ISBN 978-85-06-05989-0.

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.

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.

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.

Apêndice A - O produto educacional



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENSINO
DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
(POLO 58 - UFRPE)

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA
BASEADA NOS TRÊS MOMENTOS
PEDAGÓGICOS DE DELIZOICOV PARA A
DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA
VELOCIDADE DO SOM NO AR**

João Pessoa de Oliveira Filho

Sumário

Apresentação	65
A sequência didática	66
Bibliografia	75

Apresentação

A proposta do presente produto consiste de uma sequência de ensino baseada nos três momentos pedagógicos de Delizoicov, visando sempre o ensino da física entrelaçado à prática cotidiana, levando em consideração os conhecimentos e organizadores prévios para processo de ensino e de aprendizagem. Conforme apresentado na bibliografia do presente produto educacional, pode-se aprofundar em qualquer um dos referenciais dos quais nasceram a presente sequência didática, quais sejam a aprendizagem significativa, os três momentos pedagógicos e o ensino sob medida.

Pensando em possibilitar a aplicação do produto tanto presencialmente, quanto remotamente, construímos um diálogo entre os três momentos pedagógicos e o ensino sob medida, o qual consiste numa metodologia ativa, os quais se encaixaram de forma bem satisfatória como mostramos no infográfico a seguir.

Figura 1 – Os três momentos pedagógicos com o ensino sob medida



Fonte: Elaborado pelo autor

A sequência didática

A sequência didática inicia com o convite para os estudantes observarem cenas de dois filmes (Star Wars e Gravidade). Para tanto, devemos enviar para os estudantes um link do ‘google forms’ com cenas de tais filmes, a fim de problematizar a propagação do som, onde os alunos observam as características do som entre explosões, impactos entre destroços e tiros sonorizados, pontuando fisicamente se os fenômenos que aparecem nas cenas seriam possíveis segundo as leis da Física.

As figuras 2 e 3 mostram as cenas dos filmes que foram selecionadas para esse momento inicial que se caixia no 1º momento pedagógico de Delizoicov, qual seja, a problematização.

Figura 2 – Explosão e tiros no espaço



Fonte: Cena do filme: Star Wars Episódio III. A Vingança dos Sith.

Figura 3 – Impactos entre destroços no espaço



Fonte: Cena do filme: Gravidade

A tabela 1 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. 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 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.

Tabela 1- Organização das atividades investigativas com base nos Três Momentos Pedagógicos e Ensino sob Medida.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA	
MOMENTOS	ATIVIDADES
<p>1º MOMENTO:</p> <p>Problematização inicial e análise das informações</p>	<p>Apresentar aos alunos os seguintes questionamentos:</p> <p>Aula 1: cenas de filmes que pontuem, características da propagação do som no espaço.</p> <p>Aula 2: diagnosticar os conhecimentos prévios, de forma prévia e por meio do jogo (Labirinto no Wordwall) e de perguntas a respeito da velocidade do som e suas características de forma prévia.</p> <p>Planejamento: analisar os conhecimentos prévios dos alunos.</p>
<p>2º MOMENTO:</p> <p>Organização do conhecimento e planejamento da aula.</p>	<p>Conteúdo trabalhado: acústica.</p> <p>1. Hipóteses:</p> <p>Aula 3: fazer um levantamento histórico sobre a velocidade do som e seus aparatos experimentais para medir a sua velocidade.</p> <p>Aula 4: preparar uma aula de acordo com o levantamento feito por meio do diagnóstico e dos pontos de vista sobre o filme.</p> <p>2. Atividade experimental:</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>3. Observações e conclusões:</p> <p>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.</p>
<p>3º MOMENTO:</p> <p>Aplicação do</p>	<p>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.</p>

conhecimento e a prática do conhecimento no cotidiano.	<p>Aula 9: mostrar aos estudantes o que é um mapa conceitual e como construir, mostrando exemplos.</p> <p>Aula 10: elaboração de um mapa conceitual para avaliarmos os grupos durante todo o processo.</p>
--------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

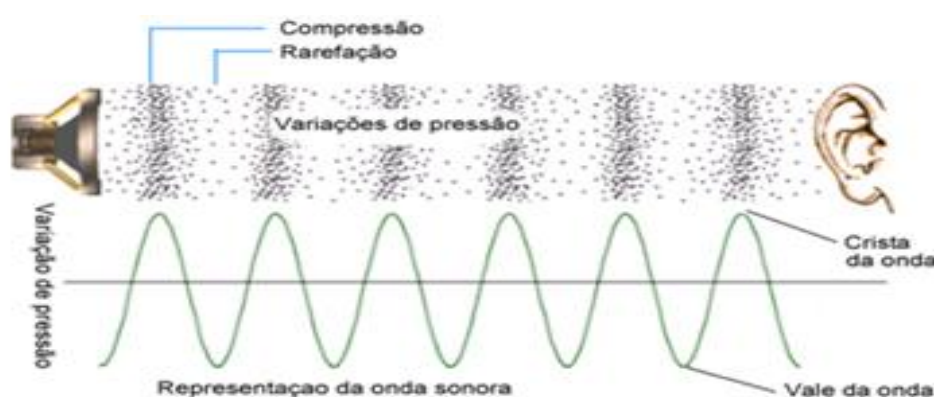
De acordo com a tabela, as aulas experimentais serão realizadas no segundo momento da sequência, junto a uma abordagem teórica sobre acústica, para organizar os conhecimentos dos estudantes, como diagnóstico prévio. Em tais aulas experimentais, a turma pode ser dividida num número de grupos de acordo com a quantidade de exemplares de cada um dos dois aparatos, a saber, o “pote hermético e bomba de vácuo” e o “tubo de ressonância”. A seguir, apresentamos o detalhamento da montagem e uso dos dois aparatos.

Prática 1: verificação de que o som precisa de uma meio material para se propagar.

Trata-se de uma reconstrução dos experimentos de Guericke (1602-1686), Kircher (1602-1680) e Boyle 1660 para a comprovação de que o som necessita de um meio material para se propagar.

As ondas são distúrbios que se propagam e levam sinais de um lugar para outro. Uma onda não transporta matéria e sim energia. Desta forma, podemos considerar o som como um transporte de energia através da vibração longitudinal das partes que compõem esse meio, e é igualmente considerado uma onda mecânica, pois precisa de um meio material para se propagar.

Figura 4 – Propagação do som no ar



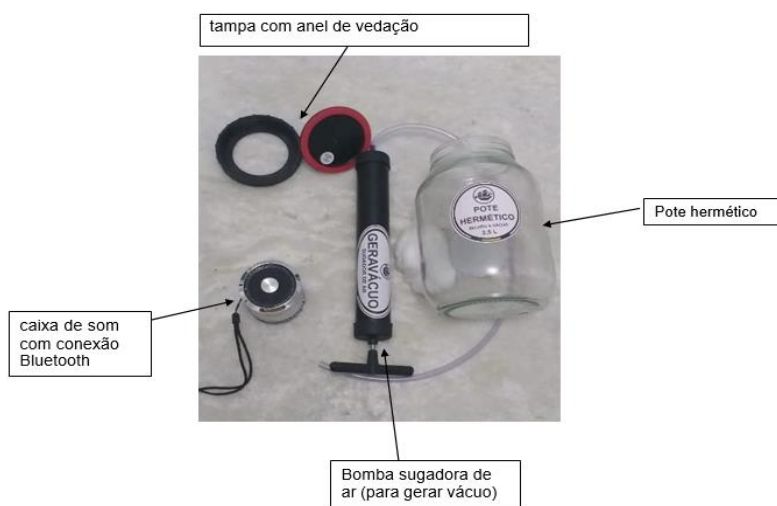
Fonte: <https://www2.santoandre.sp.gov.br/hotsites/sabina/index.php/a-sabina/experimentos/123-pagina-experimento-som-vibracao>

A figura 4 mostra como o som se propaga no ar. Percebemos que as moléculas do gás sofrem compressão e rarefação, provocadas pela variação de pressão.

Material Utilizado: um pote hermético 2,5L (adquirido pela internet), uma tampa com anel de vedação, uma bomba sugadora de ar, um smartphone, uma caixa de som com conexão bluetooth e um balão.

Procedimento Experimental: monte o aparato conforme mostra a figura 5.

Figura 5 – Pote Hermético 2,5 L e Bomba Sugadora de Ar



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 5 mostra os elementos que serão utilizado no experimento para comprovar que o som necessita de um meio material para se propagar.

Figura 6 – Pote Hermético 2,5 L conectado a bomba

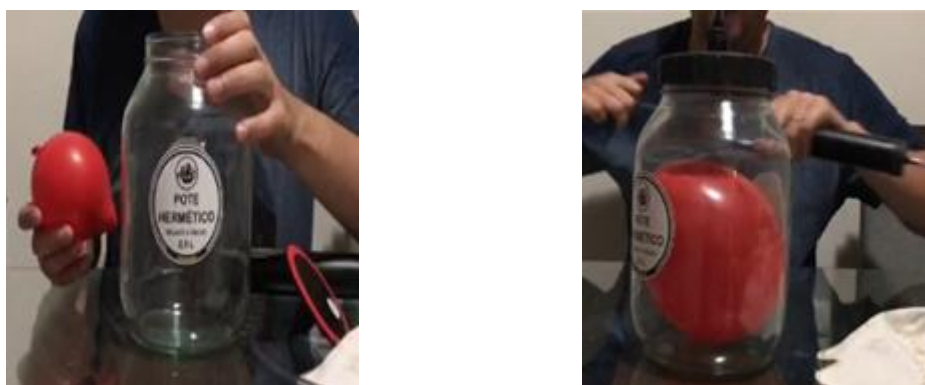


Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 6 mostra a montagem da bomba e o pote. Em seguida, será colocado dentro do pote um balão para testar se vai gerar o vácuo dentro do recipiente como mostra as figuras 7 e 8. Observe que, na medida em que o ar é retirado do interior do pote

hermeticamente fechado, a pressão atmosférica irá diminuir em seu interior e, daí, o balão irá aumentar de volume, o que evidencia a rarefação. Como sabemos, ao sugar o ar de dentro do pote, o balão começa a encher até flutuar comprovando a existência do vácuo devido a diminuição da pressão. De fato, quando retiramos o ar, a pressão no interior do balão, que antes era igual à de fora, passa a ser maior, fazendo com que o balão aumente de volume e flutue. Em seguida podemos verificar se o som realmente necessita de um meio para se propagar, como mostra as figuras 9 e 10.

Figuras 7 e 8 – Testando o Vácuo



Fonte: Elaborado pelo autor

Na sequência, a rarefação é desfeita, o balão retirado e colocamos um pequeno pequena caixinha de som bluetooth ligada. Vedamos novamente o pote e realizamos nova rarefação. Neste momento, verificamos que, na medida em que retiramos o ar, o som vai diminuindo de volume, mostrando que a onda mecânica precisa de um meio para se propagar. Já luz da caixinha de som continua a se propagar.

Figuras 9 e 10 – Caixa de som dentro do pote



Fonte: Elaborado pelo autor

Prática 2: determinação da velocidade do som no Ar.

Nesta atividade experimental, iremos calcular a velocidade do som no ar a partir de um tubo ressonante.

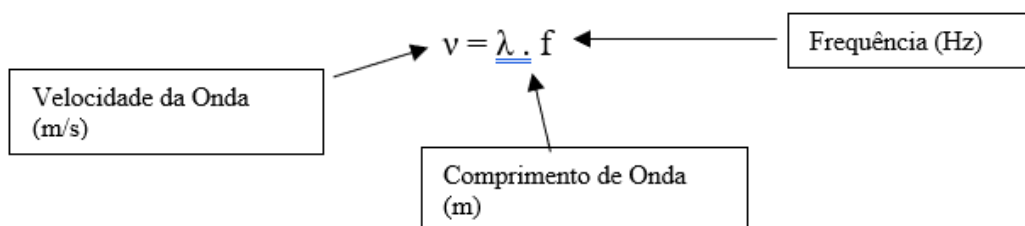
Sabemos que o som assume velocidades diferentes em diferentes meios de propagação, devido à compressibilidade do material. Portanto, a velocidade em meios sólidos é maior que a velocidade em meios líquidos que, por sua vez, é maior que em meios gasosos, ou seja, $V_S > V_L > V_G$.

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 ρ a densidade, encontrando valores próximos a 288m/s .

Laplace, por sua vez, conseguiu melhorar esse valor, partindo de uma outra hipótese. Considerando o sistema como sendo adiabático, chegou à relação $V = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$, onde P é pressão, ρ a densidade e γ uma constante ao qual é denominado de expoente de Poisson que é calculada pela razão do calores específicos c_P e c_V por meios de processos adiabáticos ligados as moléculas do ar, encontrando valor de 345,6 m/s, o qual está bem mais próximo do valor encontrado experimentalmente. Além de encontrar uma relação teórica para a velocidade do som, Laplace também determinou de que forma tal velocidade dependia da temperatura, da pressão e da densidade.

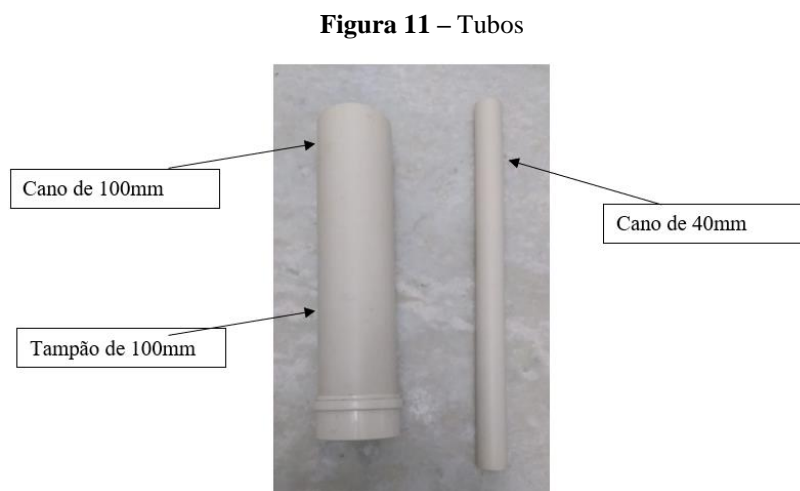
Outra representação matemática da variação de pressão em função do tempo da onda sonora mostra algumas características das ondas como cristas, vales, comprimento de onda, tendo a possibilidade de calcular sua velocidade por meio da relação:



A 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. A ressonância é detectada pelo reforço considerável produzido na intensidade sonora que pode ser notado auditivamente, desde que o ambiente não seja demasiadamente ruidoso. Medindo l , pode-se determinar λ 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.

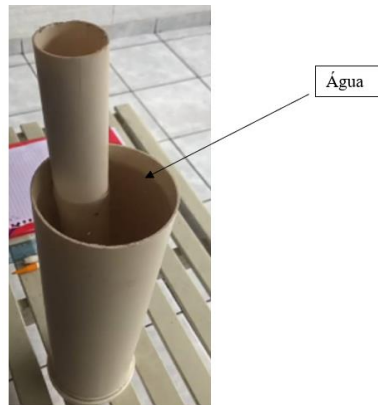
Procedimento Experimental: monte o aparato conforme mostra a figura 11.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 11 temos o material que vamos utilizar para obtenção da velocidade do som. Para tanto, encaixamos o tampão em uma das extremidades do cano de 100mm para obter um tubo sonoro apenas com uma extremidade aberta. E utilizamos um cano de 40mm como um tubo aberto nas duas extremidades.

Figura 12 – Montagem do tubo ressonante



Fonte: Elaborado pelo autor

Como podemos ver na figura 12, acrescentamos água no tubo 100mm fechado e inserimos o tubo de 40mm dentro do tubo de 100mm. Desta forma, quando elevamos ou abaixamos o tubo de 40mm, a coluna útil de ar em seu interior aumenta ou diminui, respectivamente. Com o aplicativo gerenciador de frequência instalado no smartphone (figuras 13 e 14), podemos determinar, auditivamente, o momento em que entra em ressonância e ver, no software o valor da frequência ressonante. No caso da figura, escolhemos o valor de 440 Hz. A partir daí, aproximamos o autofalante do smartphone da abertura superior do tubo de 40mm e subindo ou descendo o tubo, valor encontrar o comprimento ressonante, que pode se medido com o auxílio de uma régua, conforme mostra a figura 15. Serie interessante que o professor fizesse a prática em casa, antes de realizá-la em sala de aula, para que tenha ciência aproximada da posição do tubo de 40mm, para não correr o risco de perder muito tempo procurando o comprimento ressonante.

Figuras 13 e 14 (Aplicativo gerenciador de frequência e aplicativo instalado no celular)

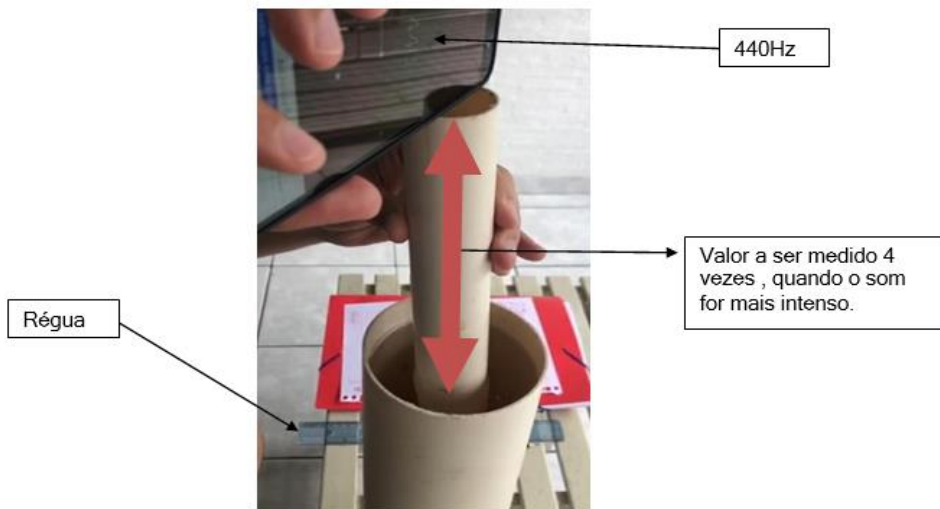


Fonte: Play Store



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15 – Medindo L, para determinar λ



Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 2 consiste numa sugestão a ser utilizada para a organização dos dados experimentais colhidos pelas equipes. Tal tabela será preenchida por cada equipe, conformes os valores de L encontrados no experimento, sendo realizadas quatro medições de L. Para um melhor valor da velocidade do som adicionar o diâmetro cano de 40mm a média do comprimento de onda.

Tabela 2 - Material de apoio na prática 2

	Medidas de L	$\lambda = L \cdot 4$ Comprimento de Onda de um ventre	Frequência	$v = \lambda \cdot f$ Valor experimental da velocidade do som no ar
1 ^a			440Hz	
2 ^a			440 Hz	
3 ^a			440Hz	
4 ^a			440Hz	

Referências Bibliográficas

ARAÚJO FILHO, J. V. **Sequência de ensino por investigação significativa no estudo das relações entre física e música em atividades experimentais envolvendo o oscilador de Melde**. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2018. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 24 ago 2021.

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.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

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 ultra-sônicas e a determinação da velocidade do som no ar através do eco. **A Física na Escola**, v. 12, n. 2, 2011. eISSN 1983-6430.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

FREIRE, P. R. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2019. ISBN: 978-85-7753-418-0.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia**- saberes necessários à prática educativa. São Paulo:Paz e terra,1996.

GRALA, R. M.; OLIVEIRA, E. S. Medida da velocidade do som no ar com o uso do microcomputador. **A Física na Escola**, v. 4, n. 1, 2003. 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.

MACIEL NETO, A. S. **Sequência didática para a aprendizagem significativa da acústica física e da acústica musical, relativas aos tubos sonoros, utilizando organizadores prévios e atividades experimentais com o tubo de Kundt**. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2019. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 24 ago 2021.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N. **Educação sonora: encontro entre ciências, tecnologia e cultura**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Bauru/SP, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102066>>. Acesso em: 24 ago 2021.

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

MOREIRA, Marco Antônio. **I Encontro Nacional do MNPEF**. Conferência de Abertura, Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=isR9a8dD_Cs&t=1304s> Acesso em: 22 nov. 2021.

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

OLIVEIRA, V.; VEIT, E. A.; ARAÚJO, I. S. Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching) e Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 180-206, abr. 2015.

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.

SCHAFER, R. M. **A afinação do mundo** - uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora. Tradução: Marisa Trench de Oliveira Fonterrada. São Paulo: Editora da UNESP, 2001. ISBN 85-7139-353-2.

_____. **O ouvido pensante**. 2 ed. Tradução: Marisa Trench de Oliveira Fonterrada, Magda R. G. da Silva e Maria Pascoal. São Paulo: Editora da UNESP, 2003. ISBN 85-7139-016-9.

_____. **Educação Sonora**: 100 exercícios de escuta e criação de sons. Tradução: Marisa Trench de Oliveira Fonterrada. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2009. ISBN 978-85-06-05989-0.

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.

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.

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.