



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Adrian Luiz Rizzo

**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA
PROPOSTA DE WEBSITE COMO RECURSO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVO NO ESTUDO DE ACÚSTICA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. Dr. Terrimar Ignácio Pasqualetto
Orientador

Prof^ª. Dra. Karen Cavalcanti Tauceda
Coorientadora

Tramandaí
Setembro de 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Rizzo, Adrian Luiz
APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NO ENSINO DE
FÍSICA: UMA PROPOSTA DE WEBSITE COMO RECURSO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO NO ESTUDO DE ACÚSTICA /
Adrian Luiz Rizzo. -- 2022.
167 f.
Orientador: Terrimar Ignácio Pasqualetto.

Coorientadora: Taucedá Karen Cavalcanti.

Dissertação (Mestrado Profissional) -- Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Campus Litoral Norte,
Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física, Tramandaí, BR-RS,
2022.

1. Aprendizagem Baseada em Projetos. 2. Website. 3.
Acústica. 4. Aprendizagem Significativa. I.
Pasqualetto, Terrimar Ignácio, orient. II. Karen
Cavalcanti, Taucedá, coorient. III. Título.

Adrian Luiz Rizzo

**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA
PROPOSTA DE WEBSITE COMO RECURSO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVO NO ESTUDO DE ACÚSTICA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovado em 30 de setembro de 2022.

Prof. Dr. Terrimar Ignácio Pasqualetto – MNPEF/UFRGS (Presidente da Banca)

Prof^a. Dra. Aline Cristiane Pan – MNPEF/UFRGS

Prof^a. Dra. Neila Seliane Pereira Witt – MNPEF/UFRGS

Prof. Dr. Paulo Vinícius Rebeque – IFPR/ Campus Jacarezinho



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Dedico à minha família e àqueles que sempre estiveram ao meu lado me apoiando durante esta jornada de conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e à Sociedade Brasileira de Física pelo investimento no aperfeiçoamento do ensino de Física em nosso país que vive tempos difíceis.

Agradeço aos professores Campus Litoral Norte da UFRGS que mostraram diferentes visões da ciência e do processo de ensino-aprendizagem e que é possível sempre interação entre eles. Aos meus orientadores, em especial ao Prof. Dr. Terrimar Ignácio Pasqualetto pelos encaminhamentos e apoio para suportar os vários momentos de crise, contribuindo excepcionalmente para a conclusão deste trabalho.

À coordenação e direção do Colégio Estadual Farroupilha que disponibilizou o espaço para aplicação do produto educacional.

A todos que torceram e incentivaram, que de algum modo colaboraram com o andamento deste projeto como um todo, em especial à minha família e aos amigos que fiz durante o Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física.

RESUMO

Não é incomum identificar na literatura de Ensino de Ciências duras críticas às metodologias que não estimulam o protagonismo do estudante no processo de aprendizagem. Elas normalmente são avaliadas como não efetivas frente ao perfil discente atualmente almejado. Muitas vezes descritas como produtoras de conhecimentos desconexos, essas práticas costumam se fundamentar na apresentação expositiva do professor, na resolução de problemas repetitivos e descontextualizados e resultar na falta de protagonismo do aprendiz. Com a intenção de assegurar aos alunos o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais coerentes com as necessidades atuais, diversas pesquisas têm sugerido a adoção de metodologias ativas. Tais metodologias colocam o estudante no centro do processo de ensino e dão a ele voz e vez. Entre essas metodologias está a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) que além de oportunizar efetivo protagonismo aos estudantes, costuma trabalhar com problemas autênticos promovendo capacidades ligadas ao trabalho colaborativo, à relevância social, entre outras. A partir disso, do reconhecimento da relação dos estudantes com a tecnologia e do alcance da internet, foi construído um *website* que reúne hipermídias de orientação a docentes interessados na Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP), bem como uma proposta detalhada para uso da ABP na investigação de temas de Acústica. O produto educacional desenvolvido (*website*) conta com uma apresentação da ABP voltada ao público docente, explanação sobre diferentes estratégias didáticas a serem utilizadas com essa metodologia, entre outros recursos destinados a professores interessados na ABP. Conta ainda com uma seção pronta para ser usada pelo professor junto a seus alunos para a investigação de temas da Acústica por meio da ABP. Tal seção reúne diversos recursos didáticos tais como simulações computacionais, *webquests*, questionários, textos de apoio e *playlist* de vídeos sobre temas de acústica que podem ser acessados e utilizados diretamente pelo *website*, mesmo com o uso de dispositivos móveis. Considerando o contexto de aplicação do produto para o ensino híbrido ou presencial e tomando como bases a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a ABP, foi proposta ainda uma sequência didática implementada junto a uma turma de segundo ano do Ensino Médio cuja questão motriz foi: “Será mesmo que há uma característica universal da

música ou um padrão nos instrumentos musicais?”. Tal questionamento ensejou o desafio de que os estudantes construíssem instrumentos musicais de baixo custo e razoável qualidade sonora na busca de que os mesmos pudessem ser usados em iniciativas educacionais de musicalização. Apoiado nos dados, verificou-se que a proposta promoveu engajamento, evolução conceitual ligada ao estudo da acústica e o desenvolvimento de capacidades ligadas ao trabalho colaborativo entre os estudantes.

Palavras-chave: Aprendizagem Baseada em Projetos. Website. Acústica. Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

It is not unusual to find harsh criticism on the methodologies that do not encourage student protagonism in the learning process. They are usually evaluated as ineffective since it is not consistent with the desired profile of a good teacher today. Often described as producers of disconnected knowledge, these practices are usually based on the expository presentation of the teacher, in the resolution of repetitive and decontextualized problems, which results in the lack of protagonism of the learner. Aiming to ensure that students will develop cognitive and social abilities according to the needs of modern society, several studies have suggested adopting active methodologies. These methodologies give them the chance to speak up and to be listened to. Project-Based Learning (PBL) is among these methodologies which, besides providing students with effective protagonism, usually works with real problems, promoting skills related to collaborative work, societal relevance, among others. Thus, based on the recognition of the students' relationship with technology and the broad reach of the internet, a website that brings together hypermedia to guide teachers interested in Project-Based Learning (PBL) has been created, as well as a detailed proposal for the use of PBL in the investigation of topics related to acoustics. The developed educational product (website) contains a PBL presentation targeted to teachers, an explanation of different didactic strategies that can be used with this methodology, among other resources intended for teachers interested in PBL. It also has a section already available for teachers to use with their students to investigate topics related to acoustics through PBL. This educational section brings together such resources as computer simulations, webquests, queries, an accompanying text, and a playlist of acoustic-related videos that can be accessed and used directly from the website even with mobile devices. Considering the context for applying the product in hybrid and presential teaching, based on Ausubel's Meaningful Learning theory and PBL, a teaching sequence was applied in the second year of High School, addressing the question: "Is there a universal characteristic of music or a pattern in musical instruments?" This question challenged the students to create inexpensive musical instruments with fairly good sonic quality, with the objective of using them in educational initiatives towards music. Based on the given data, it could be observed that this proposal promoted engagement,

conceptual evolution concerning the study of acoustics, and the development of skills related to collaborative work among the students.

Keywords: Project-Based Learning. Website. Acoustics. Meaningful Learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Etapas da ABP.	23
Figura 2– Ondas na mola com velocidade horizontal para direita.	28
Figura 3 – Ondas sonoras em um tubo com ar.	29
Figura 4 – A linha vermelha representa graficamente $y(t)$	30
Figura 5 – Onda sonora simples em instante arbitrário se deslocando para direita.	31
Figura 6 – Representação de uma onda sonora harmônica com amplitude A.	34
Figura 7 – Esquema dos harmônicos de uma corda de violão.	35
Figura 8 - Representação dos harmônicos para tubo aberto ou fechado, “n” identifica o harmônico.	36
Figura 9 – Esquema representativo de um som de baixa intensidade sonora (a) e de um som de maior intensidade sonora (b).	38
Figura 10 – Representação das notas emitidas pelas teclas de um piano.	39
Figura 11 – Representação de uma nota musical (consequentemente o mesmo comprimento de onda) tocada por dois instrumentos diferentes.	40
Figura 12 – Página de entrada ao website.	50
Figura 13 – Página destinada a professores descrevendo os atributos e ideias sobre ABP e como elaborar um projeto voltado a TAS.	50
Figura 14 - Página inicial da seção para os alunos.	51
Figura 15 – Menu completo do website versão para os alunos que utilizarem dispositivos móveis.	53
Figura 16 – Tela de boas-vindas ao projeto de acústica.	54
Figura 17– Utilizando Jamboard para o processo de síntese das ideias.	56
Figura 18 – Esboço da apresentação como organizador prévio de notas musicais.	58
Figura 19 – Webquest “ondas sonoras I”	59
Figura 20– Na simulação os pontos azuis representam moléculas de ar que se vibram na frequência de emissão do teclado virtual (Dó – 258 Hz)	60
Figura 21 – A nota Dó uma oitava acima emite um som mais agudo com o dobro da frequência original da nota Dó.	61
Figura 22: Cada equipe será direcionada à webquest de afinação correspondente ao seu instrumento musical.	62
Figura 23 - Mapa mental elaborado pelos alunos.	69
Figura 24 - Protótipo da mini bateria com tambores feitos de embalagens vazias pelo grupo 1.	74

Figura 25 - Organização da turma.	75
Figura 26– Equipe 2 calculando a densidade linear das cordas 1 e 6 do violão.	76
Figura 27 – Cálculo para o primeiro harmônico das cordas 1 e 6 do violão.	76
Figura 28 - Comprimento do tubo sonoro fechado para emitir as notas Dó, Ré e Lá.	77
Figura 29 - Afinando o xilofone de garrafas.	78
Figura 30 - Primeiro protótipo do violão.	78
Figura 31 - Versão final da mini bateria.	80
Figura 32 - Guia ilustrado da bateria.	80
Figura 33 - Versão final dos tambores.	81
Figura 34 - Guia ilustrado dos tambores.	81
Figura 35 - Versão final do violão caseiro.	82
Figura 36 - Guia ilustrado do violão.	83
Figura 37 - Versão final do xilofone de garrafas.	84
Figura 38- Guia ilustrado de xilofone de garrafas.	85
Figura 39 – Mapa mental de acústica construído pela turma.	86
Figura 40 – A esquerda a simulação e a direita as respostas obtidas na webquest.	89
Figura 41 – A simulação indicava que quanto maior a frequência, menor era o comprimento de onda.	90
Figura 42 – A região clara representa o ar ficando comprimido.	91
Figura 43 – Dados do questionário.	92
Figura 44– Mapa mental construído pela equipe 1.	95
Figura 45 – Mapa mental construído pela equipe 2.	96
Figura 46 – Mapa mental construído pela equipe 3.	97
Figura 47 – Mapa mental construído pela equipe 4.	97
Figura 48 – Mapas mentais antes (a) e depois (b) da intervenção didática.	98

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS)	18
2.2 Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)	21
2.2.1 Uso das tecnologias de informação e comunicação (TICs)	27
2.3 Acústica	27
2.3.1 Ondas mecânicas e descrição do movimento ondulatório do som	28
2.3.2 Característica fisiológica do som	37
2.3.2.1 A Intensidade Sonora	37
2.3.2.2 A altura	38
2.3.2.3 O Timbre	39
3 REVISÃO DA LITERATURA	41
4 METODOLOGIA DE ENSINO	49
4.1 Descrição do produto educacional	49
4.2 Sequência didática para implementação	51
4.2.1 Apresentar o projeto	52
4.2.2 Planejar o projeto em equipes	55
4.2.3 Desenvolver a pesquisa inicial	57
4.2.4 Criar, desenvolver a apresentação e os artefatos	59
4.2.5 Desenvolver a segunda etapa da pesquisa.	60
4.2.6 Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos.	61
4.2.7 Avaliar o projeto	63
4.2.8 Publicar o projeto	64
5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	66
5.1 Contexto da aplicação do produto educacional	66
5.2 Relato circunstanciado	67
5.2.1 Aula do dia 11/11/2021 (100 minutos)	67
5.2.2 Aula do dia 18/11/2021 (100 minutos)	70
5.2.3 Aula do dia 22/11/2021 (50 minutos)	73
5.2.4 Aula do dia 29/11/2021 (60 minutos)	74
5.2.5 Aula do dia 02/12/2021 (50 minutos)	77
5.2.6 Aula do dia 06/12/2021 (60 minutos)	79
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	87
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS	105

APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL	110
APÊNDICE B: MINI LIÇÕES	159
APÊNDICE C: DADOS DO TRÁFEGO DA SEÇÃO VOLTADA AO ALUNO.	162
APÊNDICE D: PREENCHIMENTO DO QUADRO DE GERENCIAMENTO INTERNO DAS EQUIPES	163
APÊNDICE E: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	167

1 INTRODUÇÃO

Ao visitarmos os mais recentes livros e artigos das áreas de Ensino de Ciências e Educação, não é difícil identificar uma considerável quantidade de textos e estudos que versam sobre as metodologias ativas de ensino, tais como Prado (2019), Nascimento; Fernandes; Mendonça (2010) e Segura (2015). Essas metodologias visam colocar o aluno como agente ativo de sua aprendizagem e estão focadas em desenvolver as habilidades e competências associadas à autonomia do estudante, ao aprender a aprender, ao trabalho colaborativo, entre outras. Neste contexto, portanto, o professor também assume um papel diferente do usual, torna-se um facilitador ou mediador do conhecimento, o que de forma alguma diminui sua relevância no processo.

Embora tais metodologias possuam a centralidade do aluno como elemento característico, isso não representa um fator limitante para a variedade de proposições metodológicas. São exemplos de tais metodologias, e de sua variedade, o Just-in-Time Teaching (NOVAK *et al*, 1999), Gamificação (TOLOMEI, 2017) o Peer Instruction (MAZUR, 2015), o Team-Based Learning (MICHAELSEN; KNIGHT; FINK, 2004), o Project-Based Learning (HERNÁNDEZ; VENTURA, 1998), (THOMAS, 2000), (MARKHAM; LARMER; RAVITZ, 2008), (BENDER, 2014) também conhecido como Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), entre outras.

Apesar dessa variedade, da crescente divulgação das metodologias ativas e até mesmo do interesse sobre o tema demonstrado por alguns docentes, sua implementação em sala de aula é menos comum do que se esperaria. Netto *et al* (2020) relata que grupos de educadores brasileiros (relativamente pequenos ainda) buscam inovar em suas práticas, mas esbarraram em estudantes inquietos da nova geração e isso provoca a implementação de metodologias ativas. Diversos fatores podem contribuir para isso, inclusive o tempo necessário para a efetiva difusão de inovações didáticas. No entanto, alguns fatores parecem merecer algum destaque.

O primeiro deles é o receio dos docentes de abdicar do modelo metodológico atualmente hegemônico, o chamado Ensino Tradicional. Nesse modelo os alunos recebem o conteúdo de forma prioritariamente passiva, com pouco comprometimento e debate referente ao objeto de estudo (OLIVEIRA; ARAUJO; VEIT, 2016). Embora esse modelo metodológico tenha sido usado para formar muitos dos atuais docentes, é necessário reconhecer diversas de suas limitações

quando comparado à metodologias ativas. Barros *et al* (2004), por exemplo, elenca limitações como o incentivo à memorização em detrimento da compreensão conceitual, menor estímulo ao desenvolvimento de capacidades de trabalho colaborativo, menor criticidade no processo de aprendizagem, estudo focado na testagem gerando preparação apenas na véspera da prova e autoavaliação concentrado em notas ao invés de refletir o progresso articulando ideias para repensar a própria visão de mundo.

A despeito dessas desvantagens, Ponte (1992) indica que muitos educadores se inclinam a esse modelo por terem sido ensinados prioritariamente assim, ou mesmo nunca terem tido contato com metodologias ativas em suas formações inicial e/ou continuada. Essa insegurança, por vezes, é reforçada pelo temor da reação dos estudantes, gestores educacionais ou mesmo familiares dos discentes frente à nova metodologia, uma vez que o “Ensino Tradicional” é socialmente aceito e as vantagens das metodologias ativas, por vezes, desconhecidas. Pode-se citar também outros fatores desestimulantes como falta de tempo para planejar aulas, falta de infraestrutura de muitas escolas, etc.

Considerando todos esses fatores, o presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver e avaliar um produto educacional (website) elaborado para ensino de acústica com vistas a promover a inovação didática por meio da disponibilização de informações e materiais que apoiem as primeiras incursões de um professor interessado em inovar sua prática por meio da metodologia ativa ABP. Sabe-se que a inovação didática é um processo complexo (ROGERS, 2003 *apud* MÜLLER, 2017, p. 62) fatores como falta de compreensão dos princípios metodológicos, um elevado grau de dogmatismo, dificuldades com o planejamento e preparação de materiais, entre outros, acabam frustrando algumas dessas iniciativas (MÜLLER, 2017, p. 26).

Levando em conta esses aspectos, o produto educacional consiste em um *site* apresentando as potencialidades da ABP, bem como seus princípios metodológicos, e disponibilizando um exemplo concreto para o ensino de temas de acústica, incluindo uma seção voltada aos estudantes. O espaço do *site* reservado para o professor conta também com mini lições em vídeo sobre temas recorrentes no estudo da acústica, sugestões de *webquests*, e uma galeria de fotos e vídeos dos artefatos construídos durante o projeto. Já o espaço para os alunos tem textos e vídeos discutindo conceitos de onda sonora, geração e transmissão do som, suas

qualidades fisiológicas, dicas de construção de instrumentos musicais de baixo custo e até elementos de teoria musical.

Dada a natureza do MNPEF proporcionando ao professor em exercício uma oportunidade de qualificar sua prática pedagógica, o produto educacional criado foi implementado em condições reais de sala de aula no período de onze de novembro de 2021 a seis de dezembro de 2021. Especificamente no contexto de escola pública que consegue fornecer *internet* gratuita aos alunos durante as aulas e que optou pelo ensino híbrido¹, a ABP proporcionou o aumento no engajamento nos objetos de estudo.

Com esse intuito, a seção do *website* para os estudantes² permitiu um ambiente que auxilia na investigação de conceitos de acústica, com a finalidade de possibilitar a aprendizagem significativa de conceitos como ondas sonoras, características fisiológicas do som, etc., enquanto o aluno busca superar o desafio de construir um instrumento musical em equipe. Os benefícios da proposta envolvem maior interação social, desenvolvimento de competências cognitivas e socioemocionais, ampliação da autonomia do estudante e desenvolvimento de capacidades de trabalho colaborativo.

Os instrumentos musicais sempre provocam interesse, e muitos estudantes já têm alguns conceitos de acústica na estrutura cognitiva³. No fator histórico Bleicher *et. al* (2002) menciona que a Física está intimamente ligada a acústica desde a antiguidade, sendo os estudos de Pitágoras indicando que uma corda presa em duas extremidades vibra numa frequência e ao dividir pela metade o comprimento da corda, a frequência de oscilação da corda dobra.

Com tantas razões para ensino de acústica, o interesse pela elaboração do produto educacional surgiu em função do autor ter aprendido a tocar teclado depois que ingressou no ensino superior e sempre se questionar sobre o motivo que leva o conhecimento sobre acústica ser pouco explorado no ensino básico, em especial as escolas estaduais pelo qual passou. Durante a trajetória como professor, percebeu

¹ Adotado pelas escolas da rede estadual de ensino do Rio Grande do Sul, o ensino híbrido contempla atividades presenciais e remotas, com possibilidade de atividades síncronas e assíncronas.

² O professor que tiver interesse em adaptá-lo para sua realidade pode ter uma cópia através da solicitação pelo e-mail adrianluizrizzo@gmail.com, sendo necessário apenas uma conta gmail e o cadastro na plataforma wix.com.

³ “a estrutura cognitiva é compreendida, fundamentalmente, como uma rede de conceitos organizados de modo hierárquico de acordo com o grau de abstração e de generalização” (PELIZZARI *et al*, 2002, p.38).

que o conceito de ondas sonoras é considerado difícil por uma parcela de estudantes, motivando-o para elaboração de uma sequência didática de acústica.

O planejamento da sequência didática começou em 2019 com a ideia de disponibilizar um *site* para auxiliar nas investigações de acústica para alunos do Ensino Fundamental com uma seção secundária para o professor pesquisar sobre ABP. Ainda assim, o *website* precisou ser modificado para tornar as aulas mais dinâmicas e centradas no aluno do Ensino Médio e auxiliar no primeiro contato com ABP pelo docente.

Deste modo o presente texto apresenta as bases teóricas do produto educacional, uma proposta didática para sua implementação, o relato da experiência de aplicação do produto em uma turma de 2º ano do Ensino Médio bem como os principais resultados identificados, além de apresentar, na íntegra, o *website* desenvolvido. No capítulo 2 são discutidos os referenciais teóricos norteadores da proposta: a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel; A ABP proposta por Bender (2014); A Física envolvida no estudo da Acústica. No capítulo 3 há uma breve revisão de literatura, indicando os trabalhos e estudos já publicados relacionados à ABP e à Acústica. Ao longo do capítulo 4 detalha-se a proposta de sequência didática a ser usada na implementação do produto e o contexto no qual o produto educacional foi aplicado. O Capítulo 5 aborda a aplicação do produto educacional, enquanto que no Capítulo 6 são analisados os dados obtidos através das atividades dispostas no *website*. O último capítulo, Capítulo 7, é reservado para as considerações finais que foram observadas durante a aplicação do produto educacional como material potencialmente significativo, bem como orientações para que professores interessados inovem suas práticas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas as bases teóricas do trabalho desenvolvido, i.e., a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, tomada como base teórica de ensino e aprendizagem, a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) que orientou a construção metodológica para o ensino e, por fim, os conceitos físicos envolvidos.

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS)

Conforme Gomes *et al* (2010) a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel é eficiente para educação, pois sugere um processo sistemático e interativo entre conceitos prévios e o novo conhecimento. Nesse sentido, a TAS recomenda que as tarefas de aprendizagem devam se relacionar a outros conceitos mais amplos, bem estabelecidos e diferenciados já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo chamados de “Subsunçores”. Essa correlação não deve ser determinada pelo acaso, capricho ou impulso, e sim por necessidade, razão ou princípio. Dessa forma, é possível dizer que “se quiséssemos reduzir a psicologia educacional em um único princípio este seria: - O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece” (AUSUBEL *et al*, 1980, p.137).

Em contrapartida, quando o processo é conduzido a partir de tarefas arbitrárias ou quando o elo com o conhecimento prévio do aluno é quebrado, ocorre a chamada aprendizagem mecânica. Esse processo normalmente requer menos esforço, limita-se apenas à memorização, mas costuma produzir rápido esquecimento por não se adequar à interpretação do mundo pelo aprendiz. Pontes Neto (2006) identifica que, para ocorrer aprendizagem significativa, o material de aprendizagem precisa necessariamente relacionar o tema a ser estudado com ideias da estrutura cognitiva do aluno (subsunçores) de forma não arbitrária. De fato, o aluno precisa mobilizar ideias que já conhece para conectá-las ao novo conceito.

Com o intuito de atender às premissas da aprendizagem significativa, associação da nova informação a conhecimentos já aprendidos e vivenciados, isto é, a nova informação deve ser incluída em um cabedal de conhecimentos prévios. Após essa relação, consolidada pela agregação aos “subsunçores”, cria-se um novo e/ou mais abrangente conceito (GOMES *et al.*, 2010, p. 26).

Outro processo relevante introduzido por Ausubel é o princípio da assimilação. “A assimilação é o processo que ocorre quando uma ideia, conceito ou proposição *a*, potencialmente significativa, é assimilado sob uma ideia, conceito ou proposição, isto é, um subsunçor *A*, já estabelecido na estrutura cognitiva (MOREIRA, 1999, p.24)”. A interação entre *a* e *A* gera um novo significado, que não se limita à soma desses conhecimentos ($a + A$), e que tem um efeito de facilitador da aprendizagem uma vez que passa a representar um novo subsunçor mais amplo e complexo.

Em um segundo estágio de assimilação (por obliteração) não é possível dissociar a ideia *a* de *A*. “No entanto, o efeito residual da assimilação obliterativa apresenta uma influência favorável à aprendizagem significativa de ideias relacionadas, ao contrário do esquecimento de ideias aprendidas mecanicamente” (PONTES NETO, 2006, p. 120). Esse processo de interação entre a nova informação e os conceitos pré-existentes resulta em um subsunçor modificado mais estável que sintetiza os conceitos.

Naturalmente, o processo de aprendizagem significativa carece de algumas condições básicas para ocorrer. Uma dessas condições é que o material instrucional com o qual o estudante entre em contato seja potencialmente significativo. Como a estrutura cognitiva está em constante modificação pela experiência do aprendiz, um material potencialmente significativo permite a interação entre diferentes subsunçores, possibilitando a “significação lógica de um material de aprendizagem, que materiais arbitrários como sílabas sem sentido, placas de automóveis e sentenças esparsas não possuem” (PONTES NETO, 2006, p.119).

Vale ponderar que a aprendizagem significativa depende também da disposição do aluno em relacionar a nova informação com seus conhecimentos prévios de maneira substantiva e não-arbitrária. Dessa forma, é possível que um material possua todas as condições para promover uma aprendizagem significativa – seja potencialmente significativo - e ainda assim esse resultado não seja alcançado (MOREIRA, 2012).

Nesta perspectiva, o professor de ciências tem a função de compartilhar significados aceitos cientificamente de modo intencional, utilizando materiais potencialmente significativos para desenvolver os conceitos vivenciados pelos alunos. Moreira (1999, p. 111) indica que o professor tem a responsabilidade de verificar se o aluno manifesta ideias comuns no contexto da matéria, propondo

atividades de outro modo, os significados não externados.

De fato, dentro da TAS, o conhecimento prévio é a principal variável para a aprendizagem significativa, o que não quer dizer que ele não possa dificultar o processo em alguns casos. Aprendizagem significativa não ocorre apenas com conceitos “corretos” ou cientificamente validados, é possível aprender ideias equivocadas de maneira significativa. Sendo assim, esses subsunçores derivados do senso comum e não aceitos cientificamente podem representar um obstáculo para a adequada aprendizagem no contexto do ensino formal.

Como alerta Moreira (1999, p. 114), é preciso compreender a estrutura cognitiva do estudante, não sobrecarregando o aluno com informações desconectadas de seu conhecimento prévio. No caso de não haver subsunçores relacionados à nova informação, a estratégia recomendada é o uso dos organizadores prévios. “A principal função do organizador está em preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa com que se defronta” (AUSUBEL *et al*, 1980, p. 144). Visto por outro ângulo, um organizador prévio também pode buscar significados obliterados e estabelecer relações entre os significados contidos no material de aprendizagem e esses subsunçores.

Além da atenção com os conhecimentos prévios, Ausubel *et al* (1980) propõe alguns princípios programáticos para formação de conceitos, a saber, a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Esses princípios também fazem parte das condições para que um material seja considerado potencialmente significativo.

“A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos” (MOREIRA, 2012, p.6). Para tanto, é preciso começar o processo educacional pelas ideias e conceitos mais gerais e inclusivos, devendo, a partir de então, ser progressivamente diferenciado em suas especificidades. Em outras palavras, deve-se começar oferecendo ao estudante um panorama geral do conhecimento a ser estudado e gradativamente ir progredindo para os detalhes.

Por outro lado, é fundamental que ao longo de todo o processo de diferenciação progressiva ocorra a chamada reconciliação integrativa, i.e., que os conceitos mais específicos sejam localizados dentro do panorama geral. É na

reconciliação integrativa em que desequilíbrios de ideias são importantes, chamando a atenção para possíveis similaridades e inconsistências das relações entre os conceitos, permitindo assim, reconciliar as discrepâncias percebidas (AUSUBEL *et al*, 1980).

Por fim, a consolidação ou domínio do que foi estudado, faz com que a avaliação da TAS procure evidências de compreensão dos novos conceitos, como a mudança de postura em resoluções de problemas, especialmente aqueles que não representam mera repetição de casos já experimentados pelo estudante. Portanto, o processo de avaliação não se resume a exames com respostas padronizadas e mecanicamente memorizadas, ele prioriza a exposição do estudante a situações novas nas quais ele precisará mobilizar os conceitos estudados.

O produto educacional coloca os estudantes como protagonistas do seu processo de ensino, com atividades que exigem a externalização dos entendimentos de cada um deles, exigindo o emprego destes conceitos em outros contextos. Desta forma se difere da aprendizagem mecânica (MOREIRA, 2010), onde as informações são reproduzidas normalmente para aprovação em exames passivamente, sem interação com o que o aprendiz acredita.

É possível perceber, portanto, que a TAS oferece orientações relevantes quanto ao processo de ensino e aprendizagem sem, no entanto, definir uma metodologia específica de ensino. Refletindo sobre as características apontadas pela TAS e nos objetivos deste trabalho, optou-se pelo uso da ABP em função de suas potencialidades. A seguir discute-se as características principais desta metodologia.

2.2 Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)

A ABP é uma metodologia ativa de ensino que visa desenvolver as habilidades e competências dos participantes à medida que eles se envolvem na resolução de um problema autêntico, i.e., um problema que possua vínculo com a realidade vivenciada pelo estudante. O tempo de desenvolvimento de cada projeto é flexível e depende diretamente da complexidade tanto do problema a ser resolvido quanto do artefato a ser desenvolvido.

A ABP, portanto, propõe que o aluno desenvolva conceitos, procedimentos e atitudes a partir da resolução prática de um problema contextualizado. Trata-se de

um método flexível e centrado no aluno, que mobiliza mudanças na relação interpessoal e no ambiente de cooperação e no qual o aluno passa a ter mais autonomia. De forma resumida pode-se dizer que:

A aprendizagem baseada em projeto é um modelo de ensino que consiste em permitir que os alunos confrontem as questões e os problemas do mundo real que consideram significativos, determinando como abordá-los e, então, agindo de forma cooperativa em busca de soluções (BENDER, 2014, p.9).

Pasqualetto, Veit, Araujo (2017, p. 562) e Souza, Dourado (2015 p.185), a partir de pesquisas na literatura, identificam características comuns das propostas de ABP tais como o desenvolvimento de um projeto a partir de um cenário inicial motivador (âncora), estabelecimento de aprendizagem integrada e contextualizada (questão motriz e desenvolvimento da pesquisa) mediante trabalho colaborativo para construir artefatos (possíveis soluções), entre outras. As tarefas em um projeto são diversificadas, exigindo um plano de ação cooperativo a fim de solucionar a tarefa desafiadora e complexa.

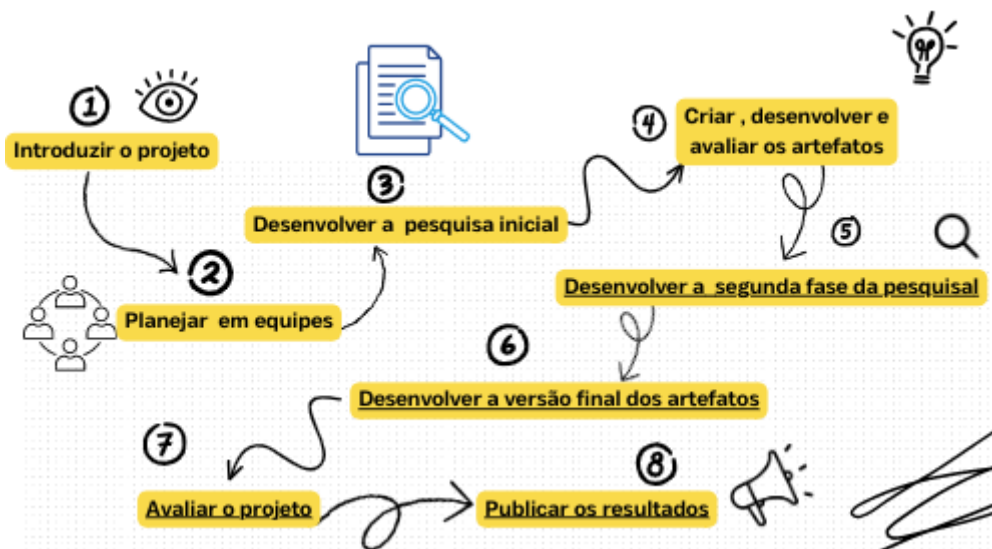
Conforme Larmer, Mengendoller e Boss (2015) e Bender (2014) a ABP tem o potencial de desenvolver habilidades e competências do século XXI, dentre as quais está a autonomia exercitada ao longo de todo o planejamento e desenvolvimento do projeto. Isso ocorre pois a ABP prevê que, durante toda a investigação, os alunos têm voz e vez no andamento do projeto. Os estudantes podem desenvolver suas ideias e hipóteses, se envolver em situações desafiadoras, trabalhar em grupos, avaliar e ser avaliado por seus pares, gerenciar o tempo e a comunicação com as demais pessoas do grupo, lidar com problemas que possam surgir durante as etapas do projeto, entre outras possibilidades. Naturalmente, em todo esse processo os estudantes contam com a tutoria do professor cujo papel passa a ser muito mais o de orientador do que o de detentor do conhecimento.

“A ABP também é um método que aprimora o trabalho do docente na medida em que o estimula a acompanhar o processo de investigação desenvolvido pelos alunos e tomar ciência do modo como eles chegam à solução dos problemas que se propõem resolver” (SOUZA; DOURADO, 2015, p. 197).

Pasqualetto, Veit, Araujo (2017) apontam ainda que existem diferentes concepções e orientações metodológicas sobre a ABP. Isso, associado à natureza contextual da inovação didática (BASSO, 2009) não nos permite estabelecer um caminho único para sua implementação, ainda que tenhamos optado por seguir as

orientações metodológicas de Bender (2014). No entanto, assim como esse autor, apresenta-se uma sequência possível para exemplificar o processo e orientar professores inexperientes com a metodologia. Para fins de organização, apresentamos a ABP de Bender (2014) por meio de sua segmentação em oito etapas, como propõe Pasqualetto (2018) na figura 1.

Figura 1 – Etapas da ABP



Fonte: Adaptado de Pasqualetto (2018, p. 183).

Na primeira etapa ocorre a introdução do projeto. Nessa ocasião o professor apresenta uma ideia âncora, i. e., lança mão dos mais diversos recursos (artigos de jornais, texto impressos, vídeos, apresentações multimídias) para contextualizar o problema a ser investigado e motivar os estudantes. Essa etapa deve envolver um grande esforço do professor para construir uma âncora facilmente compreendida pelos alunos, que desperte o seu interesse e que, trazendo os conceitos da TAS para a ABP, aflore os conhecimentos prévios sobre o tema a ser discutido.

Na sequência, o professor apresenta⁴ aos estudantes a questão motriz do projeto, i.e., “a questão principal que fornece a tarefa geral ou meta declarada para o projeto de ABP” (BENDER, 2014, p.17). Há então um momento de discussão geral da turma acerca dessa questão, o que pode ser feito no formato de *Brainstorming*, que consiste em uma dinâmica de grupo com objetivo de produzir o máximo de ideias, sem descartar ou julgar nenhuma delas.

⁴ A questão motriz pode ser desenvolvida com os alunos quando estes já possuírem maior maturidade e experiência com a metodologia.

A segunda etapa consiste em planejar o projeto em equipes. Para tanto os alunos serão divididos em grupos que com autonomia para buscar respostas à questão motriz e explorar as situações-problemas na discussão do cenário inicial. O professor, por sua vez, assume o papel de orientar os procedimentos de cada grupo, ouvindo as angústias e expectativas dos alunos, viabilizando situações de aprendizagem e fomentando relações entre os conceitos e o plano de ação estabelecido pelo grupo. Bender (2014, p.14) considera que a escolha do aluno deve aparecer ao longo de todo o processo, mesmo que nas primeiras abordagens do método, o professor fique mais confiante com orientação personalizada aos alunos inexperientes para que consigam focar certas etapas do projeto.

Como Souza, Dourado (2015) e Bender (2014) apontam, o objetivo principal da questão motriz é orientar os alunos para delimitar parâmetros do trabalho, além de motivá-los e estimular outras questões mais específicas. É a partir da questão motriz que começam as discussões para definir os problemas mais relevantes para a investigação. Neste ponto Bender (2014, p.136-p.137) recomenda um diário individual encorajando o pensamento livre pelo qual o aluno elabora notas de suas reflexões.

Outro ponto destacado por Bender (2014, p.62) é a importância da comunicação e organização interna dos grupos. Ele sugere o uso da técnica de *Brainstorming* dentro do grupo para superação dos problemas iniciais e definição da organização do trabalho em equipe. Indica, ainda, a relevância de que os alunos apresentem por escrito (que pode ser disponibilizado *on-line*) ao professor um esboço ou um resumo do planejamento estabelecendo responsabilidades individuais para cada integrante do grupo e tarefas do projeto. Isso permite uma avaliação do professor ao mesmo tempo que fortalece a organização do grupo.

A terceira etapa ocorre com o desenvolvimento da pesquisa inicial, i.e., uma primeira busca de informações para responder a questão motriz e as questões dela derivadas. Para isso, os alunos precisam de recursos suficientes para a investigação (livros, revistas, *sites*), sendo que “o acesso à internet é um ponto-chave dessa fase” (BENDER, 2014, p. 63). O professor deve gerenciar os recursos disponíveis, supervisionando o trabalho de pesquisa e se necessário preparando lições específicas curtas (mini lições) focadas, prioritariamente, em um tópico oriundo das necessidades observadas.

Além de algumas mini lições, as *webquests* poderão ser oferecidas durante todas as fases do projeto. Como reitera Silva (2015) e Bender (2014), uma *webquest* é uma ferramenta versátil de pesquisa que orienta ou introduz informações de base, utilizando a internet, promovendo um ambiente de colaboração e transformando a informação em conhecimento. De fato, a elaboração de uma *webquest* é desafiadora, pois ela deve encorajar a exploração das informações com autonomia dos alunos, o que exige do professor encontrar links confiáveis que sirvam de suporte para melhorar ou desenvolver o entendimento de tópicos relacionados ao projeto.

A quarta etapa, que por vezes pode se desenvolver paralelamente à terceira, envolve criar, desenvolver e avaliar a apresentação e os artefatos da proposta. Nessa etapa, além do processo de desenvolvimento de artefatos, ocorre uma maior apropriação de informações de forma individual e/ou coletiva, que geram novos debates na busca de soluções para a questão motriz. Como Bender (2014) alerta, um parecer verbal do professor é necessário a cada reunião de grupo, promovendo uma avaliação diagnóstica a partir do que o grupo já conseguiu cumprir e dos desafios a concluir. Um *feedback* pode ser uma retomada do conteúdo, uma avaliação a respeito das atividades identificando pontos fortes e fracos.

Além do *feedback* contínuo do professor, é importante que ao final do período previsto para essa etapa o grupo realize uma avaliação interna de tudo o que foi desenvolvido até então, verificando as lacunas e possibilidades de melhorias.

A quinta etapa representa uma segunda fase de pesquisa agora direcionada às lacunas e necessidades de melhorias identificadas nas etapas anteriores. Nela novas mini lições podem ser ministradas visando oferecer informações complementares pelo professor ou por um convidado especialista da área. É importante que, assim como na primeira etapa de pesquisa, elas sejam pensadas e desenvolvidas a partir das necessidades dos alunos. As tarefas individuais previstas no planejamento inicial dos grupos ou que o professor tenha solicitado durante o processo e que ainda estão pendentes devem ser concluídas durante esta fase da ABP.

Na etapa seguinte, ou seja, na sexta etapa, começa o desenvolvimento da versão final da apresentação e dos artefatos do projeto. Bender (2014, p. 65) alerta que caso o prazo de conclusão do projeto esteja se esgotando, apenas mudanças

que resultarão em uma melhora considerável devem ser realizadas. Assim como pode ocorrer na terceira e quarta etapas, é possível que a quinta e a sexta se misturem e até sejam desenvolvidas concomitantemente. O único cuidado que o professor deve ter é o de oportunizar aos estudantes a oportunidade de refletir sobre a questão motriz e sobre aquilo que desenvolveram, bem como auxiliar os estudantes com o gerenciamento do tempo.

Concomitante a todo projeto, a sétima etapa representa a avaliação formativa de caráter individual e/ou coletivo que deve ocorrer em cada fase do processo. Para isso, são sugeridos processos e instrumentos avaliativos diversificados tais como avaliação pelos colegas, autoavaliação, questionários, rubricas e *webquests* que são especialmente recomendadas por Bender (2014, p. 21).

Para que os estudantes tenham ciência das expectativas com relação a tarefas individuais e/ou coletivas, uma rubrica cumpre seu propósito ao listar critérios específicos e criar uma escala que descreve o possível desempenho dos alunos, abordando todos os componentes relevantes das tarefas ou do próprio artefato. As rubricas permitem, inclusive, uma autoavaliação da tarefa pelo aluno ou pelo grupo, antes da entrega da atividade, oferecendo, assim, mais um momento de reflexão sobre sua própria prática. Embora a construção de uma rubrica exija notável tempo para elaboração de critérios capazes de relatar o que se pretende de forma clara, sua disponibilização tem especial impacto sobre a autonomia e autogerenciamento do processo de aprendizagem dos estudantes.

A última etapa é definida como a publicação dos artefatos e trata-se da apresentação ao público dos resultados do projeto. Essa divulgação pode ser realizada por meio eletrônico (divulgação por blog, por vídeos de internet) ou presenciais (eventos diversos) a depender do perfil do projeto ou do contexto no qual ele se desenvolveu. O objetivo dessa etapa é valorizar o trabalho desenvolvido por cada equipe e reforçar o senso de autenticidade do problema, afinal a solução desenvolvida será levada a termo e poderá representar uma solução efetiva para um problema vivenciado por ele ou pela comunidade que o cerca.

A organização por meio dessas etapas será considerada tanto na construção do produto educacional ao explicar a metodologia a professores interessados, quanto no planejamento da implementação do produto.

2.2.1 Uso das tecnologias de informação e comunicação (TICs)

Um fator muito destacado por Bender (2014) é o potencial apoio que as TICs representam para implementação da ABP, uma vez que podem facilitar a comunicação e o acesso às informações. Diante do atual cenário de pandemia esse apoio se torna estratégia central tendo em vista que o ensino tem ocorrido, fundamentalmente, de forma remota. Nesse contexto, diversas ferramentas on-line vêm sendo utilizadas por escolas públicas e privadas. Dentre essas, se destaca o Google sala de aula⁵ utilizada por diversas instituições de ensino, inclusive pela rede estadual de ensino do Rio Grande do Sul, onde pretende-se implementar o produto educacional aqui descrito. Trata-se de uma plataforma de ensino capaz de possibilitar atividades individuais e coletivas, permitindo a socialização e compartilhamento de ideias, *feedbacks* personalizados, maior organização e facilidade de acesso a tarefas propostas, entre outras possibilidades. Naturalmente novos recursos também demandam um perfil docente diferente daquele tradicionalmente presente nas escolas.

A inclusão das novas tecnologias na educação exige um novo perfil profissional, mais flexível e maduro. Um profissional que não apenas conheça a tecnologia, mas também seja capaz de transformar, modificar e inovar o processo de ensino-aprendizagem. Diante dessa realidade, é importante que o professor possa refletir e repensar sua prática pedagógica com o objetivo de adequá-la e/ou melhorá-la, construindo novas formas de ações que permitam, não só lidar com a realidade, mas também reconstruí-la (SOARES-LEITE; NASCIMENTO-RIBEIRO, 2012, p.184).

A partir do desafio corrente da implementação de TICs em sala de aula em conjunto com uma desejada postura mais ativa dos alunos, a criação de um *site* direcionado às necessidades do professor parece um bom caminho para oportunizar um primeiro contato com a ABP. O que se pretende é que, à medida que os professores ganhem experiência com a ABP e o uso das TICs, eles comecem a modificar suas perspectivas pessoais e a perceber as vantagens que essas inovações podem oferecer ao processo educacional como um todo.

2.3 Acústica

A Acústica é um ramo da Física que aborda os fenômenos sonoros e suas propriedades estando presente em diversos ambientes frequentados pelos

⁵O acesso ao G Suite propiciou as aulas remotas pela plataforma do Google sala de aula na Rede Estadual de Ensino do Rio Grande do Sul, a partir de junho de 2020.

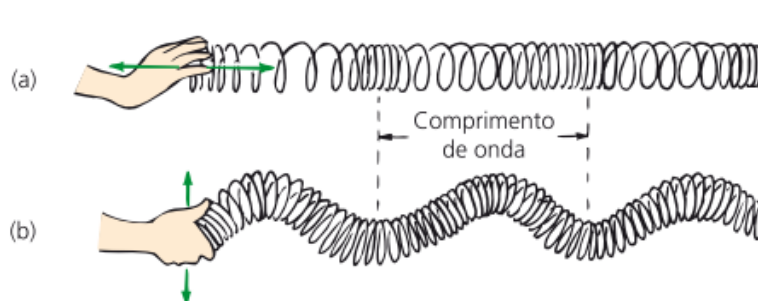
educandos. As ondas sonoras aparecem nos mais diversos ramos da sociedade contemporânea, tais como engenharia, saúde e arte, possibilitando no Ensino Médio o estudo da teoria clássica das ondas em diferentes contextos.

Conforme Halliday, Resnick (2016, p.275) há três tipos principais de ondas, sendo a mais conhecida, as ondas mecânicas que necessitam de meios materiais para propagar, como por exemplo, as ondas do mar, ondas em uma corda, ondas sonoras e sísmicas. O segundo tipo são as ondas eletromagnéticas que oscilam nos campos elétrico e magnético e por consequência podem atravessar o vácuo, tendo como exemplos, as ondas rádio e televisão, raio X, luz visível, infravermelho, entre outros. Por fim, as ondas de matéria são associadas aos átomos e moléculas, às partículas elementares, como os elétrons, prótons e quarks.

2.3.1 Ondas mecânicas e descrição do movimento ondulatório do som

As ondas mecânicas podem ser definidas como oscilações que se propagam em um meio material. Conforme Michaelis (OSCILAÇÃO, 2021), uma das definições da palavra oscilação envolve a ideia de “movimento periódico em que um corpo descreve trajetória ora em um, ora em outro sentido, afastado de sua posição de equilíbrio estável”. Considerando isso, todas as ondas (figura 2) podem ser classificadas, quanto à direção de oscilação, como transversal, caso as oscilações sejam perpendiculares em relação à direção de propagação da onda, ou como uma onda longitudinal, caso a direção de vibração coincida com a direção de propagação.

Figura 2 – Ondas na mola com velocidade horizontal para direita.



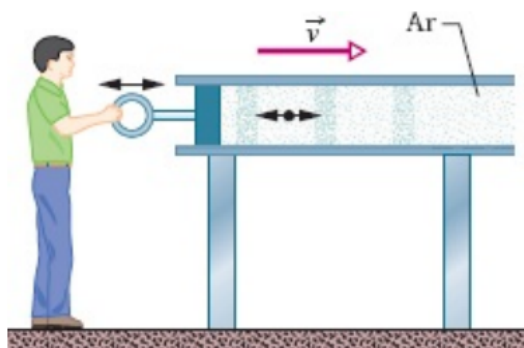
Fonte: HEWITT, 2015, p.361

(a) A onda é longitudinal, com oscilação na direção horizontal.

(b) A onda transversal, com oscilação na direção vertical.

Seguindo a definição usada por Halliday, Resnick (2016, p.344), uma onda sonora pode ser definida, genericamente, como uma onda longitudinal. Assim, é possível demonstrar esse tipo de onda por meio do movimento brusco de um êmbolo em um cilindro contendo ar (figura 3). O movimento realizado para a direita produz uma compressão do ar nesta região, assim como o movimento para a esquerda gera uma rarefação do ar. A interação dessas moléculas comprimidas e rarefeitas com moléculas vizinhas faz com que essa oscilação se propague, dando origem a uma onda sonora que se desloca ao longo do tubo com velocidade de propagação v .

Figura 3 – Ondas sonoras em um tubo com ar.



Fonte: Halliday, Resnick (2016, p.277)

As moléculas de ar estão no movimento de vaivém na mesma direção da propagação da onda, caracterizando como uma onda longitudinal, conforme o movimento do êmbolo.

Da mesma forma, ao oscilar uma superfície bidimensional (como ao tocar um tambor ou bater palmas), um pulso de onda sonora surge; as moléculas do ar próximas à essa superfície são postas em movimento e interagem com outras moléculas adjacentes gerando uma compressão do ar. Essa compressão, por sua vez, se movimenta na mesma direção de propagação do pulso, pois as moléculas inicialmente comprimidas, ao colidir com moléculas vizinhas, transferem momento linear gerando a propagação do pulso.

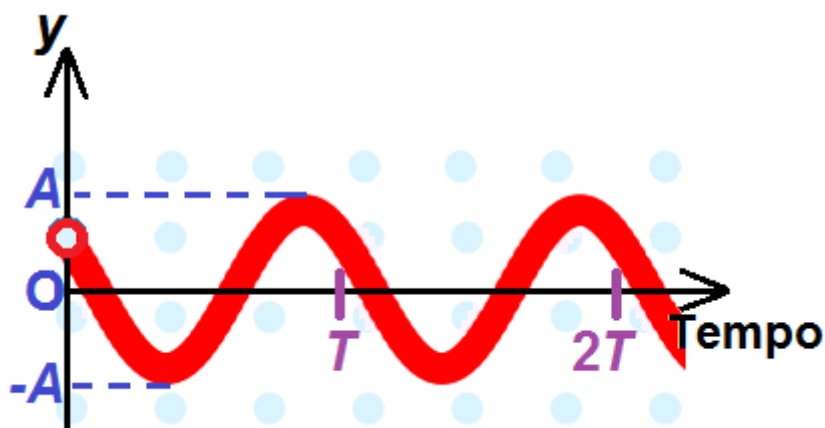
Considerando que esse movimento ondulatório se repita sistematicamente, a grandeza período (T) será definida como o intervalo de tempo fixo para que um ciclo oscilatório ocorra. Complementarmente é possível determinar também a grandeza física frequência (f) como a quantidade de ciclos oscilatórios em um dado intervalo de tempo. Essas definições permitem relacionar matematicamente essas duas grandezas por meio da equação (1). De acordo com o Sistema Internacional de

Unidades (SI), o período é medido em segundos, enquanto a frequência é medida em hertz (Hz), sendo um hertz o equivalente a um ciclo que se repete a cada segundo, assim $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.

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

De acordo com o Teorema de Fourier, uma onda, não importa quão complexa seja, pode ser expressa como combinações lineares de funções trigonométricas seno e cosseno. Uma representação gráfica (Figura 4) de uma onda sonora simples pode ser obtida ao focar na posição (y) de uma única molécula de ar com o passar do tempo (t), com a amplitude de oscilação A .

Figura 4 – A linha vermelha representa graficamente $y(t)$.



Fonte: Adaptado de *print screen* da simulação *chrome experiments Sound-Waves*

A molécula de ar oscila em torno do ponto equilíbrio O , o maior afastamento desta posição é a amplitude da onda (A), sendo que a cada período (T), a molécula de ar retorna à posição inicial. Desta forma, a cinesia da molécula pode ser modelada como movimento harmônico simples⁶, tendo sua dinâmica bem representada pela equação (2), onde A representa amplitude da onda, φ representa a fase inicial do movimento e ω representa a velocidade angular em radianos por segundo (NUSSENZVEIG, 2002, p. 52).

$$y(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

Como a função cosseno tem período fundamental 2π radianos e a molécula de ar retorna à posição inicial a cada período (T), a Equação (2) retorna a seguinte

⁶ “A condição para haver movimento harmônico simples é que a força restauradora seja proporcional ao deslocamento em relação ao equilíbrio. Essa condição é satisfeita, pelo menos aproximadamente, para a maioria das vibrações” (HEWITT, 2015, p.358).

igualdade $y(t) = y(t+nT)$ com $n \in \mathbb{N}$. Desta forma, o período de oscilação pode ser relacionado com a velocidade angular através da equação (3) e combinado com a equação (1), obtém-se a velocidade angular é proporcional à frequência de oscilação (equação 4).

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (4)$$

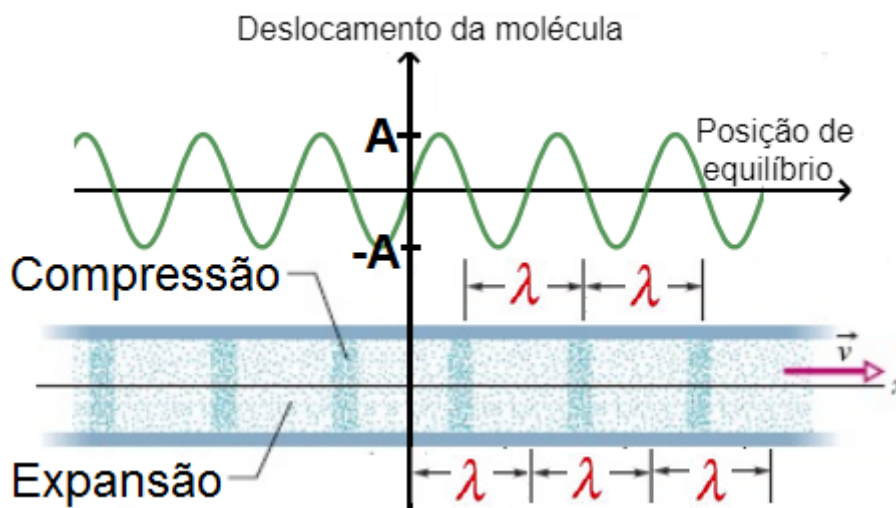
Considerando a equação (2) como a posição da molécula em relação ao tempo, a primeira derivada representa a velocidade da oscilação (equação 5), enquanto a segunda derivada representa a aceleração da molécula de ar (equação 6). A partir das equações (2), (5) e (6), quando a molécula de ar está em sua posição de equilíbrio $y(t) = 0$, a velocidade de oscilação é máxima com módulo $A\omega$ e a aceleração é nula, por outro lado, quando a molécula está em seu maior afastamento em relação a posição de equilíbrio, $y(t) = A$ ou $y(t) = -A$, velocidade de oscilação é nula e o módulo da aceleração é máxima $A\omega^2$.

$$v = \frac{dy}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

$$a = \frac{d^2y}{dt^2} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) \quad (6)$$

Na análise anterior, uma molécula de ar oscila em torno de posição de equilíbrio com o passar do tempo. Uma forma gráfica alternativa para representar uma onda sonora (figura 5) considera como o conjunto de moléculas está distribuído em relação à distância da fonte geradora. Desta forma, retrata o deslocamento das moléculas de ar em relação à sua posição de equilíbrio em dado momento.

Figura 5 – Onda sonora simples em instante arbitrário se deslocando para direita.



Fonte: Adaptado de Halliday, Resnick (2016, p.350)

“O comprimento de onda de uma onda (λ) é a distância (medida paralelamente à direção de propagação da onda) entre repetições da forma de onda” (HALLIDAY; RESNICK, 2016, p.280). A partir da figura (5), a passagem da onda sonora faz com que os elementos de ar oscilem na horizontal, onde a função (7) acaba representando o deslocamento $s(x,t)$ de cada elemento em função do tempo e sua posição x , sendo o número de onda (k) definido como a razão entre o período fundamental 2π e o comprimento de onda.

$$s(x, t) = A\cos(kx - \omega t) \quad (7)$$

Da mesma forma, a primeira derivada parcial em relação ao tempo irá representar a velocidade dos elementos de ar (equação 8), enquanto que a segunda derivada parcial em relação ao tempo representará a aceleração (equação 9). Cada elemento infinitesimal oscila em torno de um ponto de equilíbrio, sendo a derivada de segunda ordem em relação a posição x representado a curvatura da onda (equação 10).

$$v = \frac{\partial s(x,t)}{\partial t} = A\omega \sin(kx - \omega t) \quad (8)$$

$$a = \frac{\partial^2 s(x,t)}{\partial t^2} = -A\omega^2 \cos(kx - \omega t) \quad (9)$$

$$\frac{\partial s(x,t)}{\partial x} = -Ak \sin(kx - \omega t) \Rightarrow \frac{\partial^2 s(x,t)}{\partial x^2} = -Ak^2 \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

De acordo com Young e Freedman (2015), o elemento de ar oscila compatível com equação de onda (equação 11). Substituindo as equações 9 e 10 na equação 11 resulta que a velocidade de oscilação da onda é a razão entre a velocidade angular pelo número de onda.

$$v^2 \frac{\partial^2 s(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 s(x,t)}{\partial t^2} \quad (11)$$

$$-v^2 Ak^2 \cos(kx - \omega t) = -A\omega^2 \cos(kx - \omega t) \Rightarrow v = \frac{\omega}{k} \quad (12)$$

Nussenzveig (2002, p.122) e Halliday, Resnick (2016, p.344) indicam que a oscilação de um corpo produz ondas sonoras caracterizando-as como ondas mecânicas. Sendo assim, percebe-se que essas ondas sonoras necessitam de um meio material para serem transmitidas e, conseqüentemente, não podem se propagar no vácuo. Apesar da vasta faixa de frequências das ondas sonoras, os sons audíveis pelo ser humano se encontram na faixa aproximada dos 20 Hz a 20 kHz. Isso quer dizer que nosso ouvido é capaz de perceber vibrações que se

repetem entre vinte e vinte mil vezes a cada segundo e que os objetos que produziram esse som vibraram nessa faixa de frequência.

Além de perceber essas frequências, o corpo humano também é capaz de produzir som possuindo inclusive um aparelho próprio para isso, o aparelho fonador. Apesar de envolver uma série de órgãos e estruturas, são as pregas vocais que costumam receber destaque. A versatilidade na produção de sons pelas pregas vocais humanas decorre da grande maleabilidade de suas estruturas localizadas na laringe, estruturas essas que vibram (KOISHI, 2003) com a passagem do ar que sai dos pulmões. Quando, por exemplo, um músico canta, gera ondas sonoras com características oriundas da vibração de suas pregas vocais. Quando dedilha as cordas de seu violão, as oscilações das cordas provocam compressões e expansões no ar ao seu redor, dando origem ao som característico.

Esses e outros instrumentos musicais produzem som gerando oscilações que acabam se propagando em algum meio material. Na prática, os instrumentos musicais podem ser classificados conforme a maneira pela qual o som é produzido. Os instrumentos de corda, cujo som é produzido pela oscilação de cordas; os instrumentos de sopro, nos quais o som é produzido por colunas de ar em vibração; ou os instrumentos de percussão, em que o som é produzido pela vibração de uma superfície bidimensional (HEWITT, 2015, p.296).

Embora diversas características da onda sonora tenham relação com a sua fonte, a velocidade de propagação do som não depende das características da fonte sonora. De fato, Halliday, Resnick (2016, p.345) indicam que a velocidade do som depende das propriedades do meio de propagação, como as propriedades inerciais do material. Outro parâmetro que influencia a velocidade de propagação são as propriedades elásticas do meio. A Tabela 1 traz alguns valores da velocidade do som em diferentes meios de propagação

Todos os tipos de ondas podem ter sua velocidade de propagação v calculada através do produto do comprimento de onda (λ) pela frequência (f) (equação 13) e pode ser deduzida através da equação (12). Uma onda sonora é dita harmônica quando possui um perfil senoidal (Figura 6) e tem a frequência (f) de onda constante, vale lembrar que f também pode ser determinada pelo número de oscilações completas que passam por um ponto em um determinado tempo, enquanto que o comprimento de onda (λ) pode ser determinado como a distância

entre dois pontos equivalentes consecutivos e correspondentes, como a distância entre dois vales ou duas cristas consecutivas. (NUSSENZVEIG, 2002).

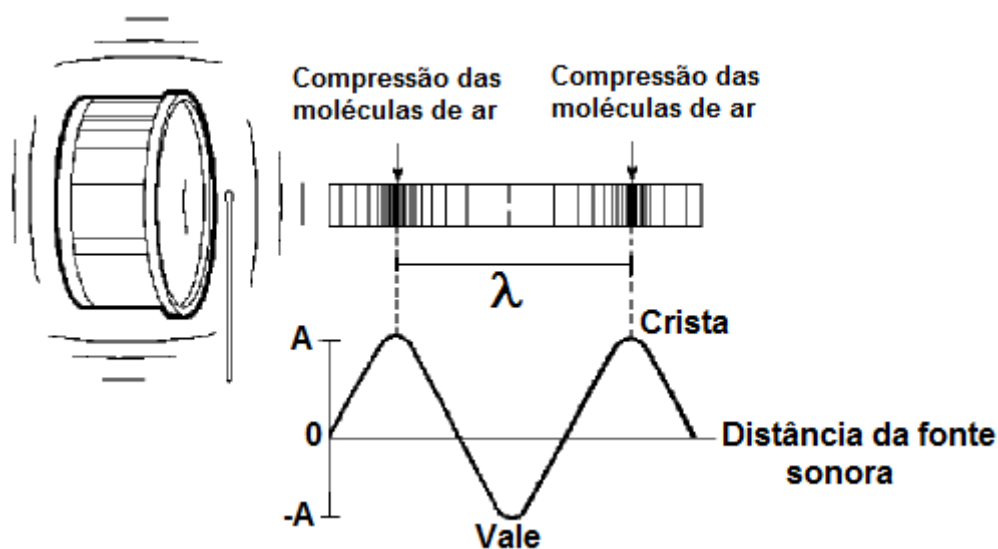
$$v = \frac{\omega}{k} \Rightarrow v = \frac{2\pi f}{2\pi/\lambda} \Rightarrow v = \lambda f \quad (13)$$

Tabela 1: Velocidade do som em alguns meios.

	Material	Velocidade do som (m/s)
Gases	Ar (20°C, 50% de umidade)	344
	Ar (0°C, 50% de umidade)	322
	Ar (-20°C, 50% de umidade)	219
	Hidrogênio (15° C)	1290
	Hidrogênio (0° C)	1261
	Oxigênio (0° C)	346
	Oxigênio (15° C)	324
Líquido	Água (20° C)	1490
	Benzeno (20° C)	1250
Sólidos	Aço (20°C)	5000
	Cobre (20°C)	3719
	Vidro	5370

Fonte⁷: Adaptado de Fernandes, J.C. Acústica e ruídos.

Figura 6 – Representação de uma onda sonora harmônica com amplitude A.



Fonte: Adaptado e traduzido de Julius Dawson (2016)⁸.

Eixo horizontal representa a distância da fonte, eixo vertical representa a variação de pressão causada pela perturbação do tambor.

⁷ Disponível em: <www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/Apostila/capitulo%2003.pdf> Acesso em: 10 de abril de 2019.

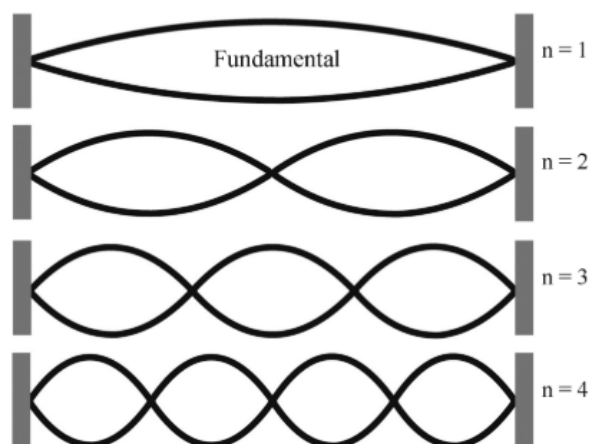
⁸ Disponível em: <https://slideplayer.com/user/6880346/> Acesso em: 10/02/2021.

Uma considerável parte das características principais das ondas sonoras estão diretamente ligadas às propriedades da fonte geradora. Para instrumentos de percussão, as vibrações da superfície e do corpo do tambor produzem o som característico de cada instrumento. De modo semelhante, instrumentos de corda têm sua frequência natural modelada por meio de características como o comprimento da corda (L), a tração nela exercida (T) e a densidade linear de massa (μ) da corda para determinar frequência dos modos transversais de vibração (COELHO; MACHADO, 2015, p.218). Catelli e Mussato (2014), Halliday, Resnick (2016) indicam ainda que a velocidade da onda na corda de instrumento musical pode ser prevista através da tração da corda (T) e da densidade linear de massa da corda (μ), calculada pela (equação 14):

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{\text{propriedade elástica}}{\text{propriedade inercial}}} \quad (14)$$

Podemos usar um violão como exemplo de um instrumento de cordas. Nele as extremidades das cordas são fixas com um comprimento L e tensionadas com tarraxas com uma força T . Ao tocar uma corda, ela vibra como uma onda estacionária em seu estado fundamental com comprimento de onda de $2L$, mas outros padrões de oscilações são permitidos dependendo da quantidade de harmônicos (n), como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Esquema dos harmônicos de uma corda de violão.



Fonte: Guedes (2015, p.2)

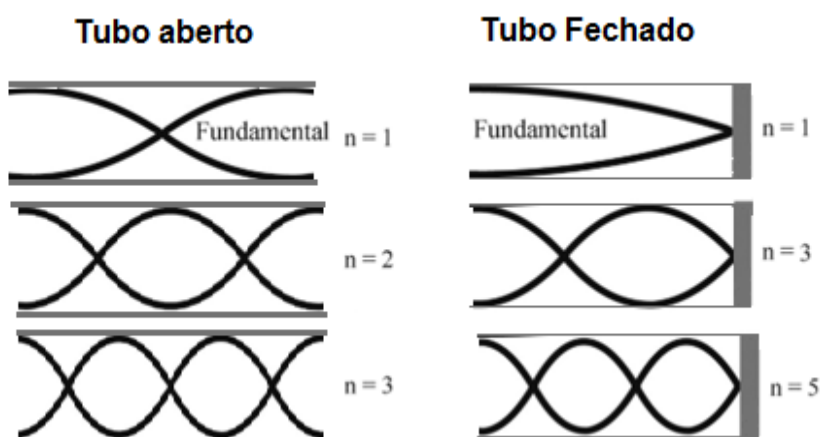
Numa corda típica de violão, esquematizada na figura 7, a amplitude máxima é cerca de 1 mm, na representação a amplitude está exagerada, repare que no padrão fundamental, o comprimento de onda é o dobro do comprimento da corda. O padrão observado é dito estacionário por haver pontos que não oscilam, denominado de nós, por outro lado, os ventres são os pontos da corda que vibram com a maior intensidade.

Combinando as equações (13) e (14), os harmônicos de uma corda tem frequência definida pela equação (15).

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (15)$$

Já nos instrumentos de sopro tais como flauta e trombone, as características do som são moldadas pela vibração da coluna de ar no interior de um tubo. Até por isso, esses tubos costumam ser chamados de tubos sonoros, podendo ter suas extremidades abertas ou fechadas (figura 8). Novamente a vibração é estacionária, de forma que formam-se ventres nas extremidades abertas e nós nas extremidades fechadas.

Figura 8 - Representação dos harmônicos para tubo aberto ou fechado, “n” identifica o harmônico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para tubos abertos com comprimento L , o estado fundamental resulta em um padrão de um nó e dois ventres. O comprimento de onda para o estado fundamental, neste caso, será o dobro do comprimento do tubo, assim $\lambda_1 = 2L$, para

o segundo harmônico $\lambda_2 = \frac{2L}{2} = L$, para o terceiro harmônico $\lambda_3 = \frac{2L}{3}$, mantendo sempre este padrão $\lambda_n = \frac{2L}{n}$. As frequências de emissão serão múltiplas da frequência fundamental (f_1), conforme equação (16):

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{v}{2L/n} = \frac{nv}{2L} = nf_1 \quad (16)$$

Para tubos fechados, por sua vez, o comprimento de onda do estado fundamental é o quádruplo do comprimento do tubo L , com todos os harmônicos ímpares ($2n-1, n \in \mathbb{N}^*$). Para o primeiro harmônico $\lambda_1 = 4L$, para o terceiro harmônico $\lambda_3 = \frac{4L}{3}$, mantendo sempre este padrão $\lambda_{2n-1} = \frac{4L}{2n-1}$. As frequências de emissão serão múltiplas da frequência fundamental (f_1), conforme equação (17):

$$f_{2n-1} = \frac{v}{\lambda_{2n-1}} = \frac{v}{4L/(2n-1)} = \frac{(2n-1)v}{4L} = (2n - 1)f_1 \quad (17)$$

A capacidade do ser humano de ouvir e interpretar tais frequências, no entanto, não é um processo biológico simples. Com síntese das principais características das ondas sonoras relacionando com dispositivos capazes de produzir ondas sonoras, os sons que atingem o sistema auditivo são transformados em impulsos elétricos que viajam pelos neurônios até o cérebro, onde são interpretados conforme as características fisiológicas do som.

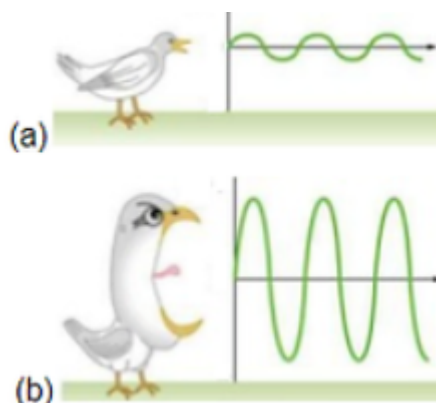
2.3.2 Característica fisiológica do som

Comumente o som pode ser distinguido pelo ser humano por meio de três qualidades fisiológicas, a intensidade, altura e timbre das ondas sonoras. A seguir essas qualidades serão discutidas.

2.3.2.1 A Intensidade Sonora

A intensidade sonora está diretamente relacionada com o popular volume do som. O som forte (maior volume) resulta de ondas sonoras com maior amplitude, i.e., nível de audibilidade elevada, enquanto sons fracos (volume baixo) têm baixa intensidade e, conseqüentemente, uma amplitude de onda pequena como exemplifica o esquema da figura 9.

Figura 9 – Esquema representativo de um som de baixa intensidade sonora (a) e de um som de maior intensidade sonora (b).



Fonte: OpenStax College

Em alguns casos, os instrumentos que produzem sons de pequena intensidade precisam utilizar recursos de amplificação sonora para que o som seja ouvido de maneira satisfatória. Novamente podemos usar o violão como exemplo, já que nele as cordas tensionadas vibram com pequena amplitude, gerando um som fraco. Para contornar este problema, uma caixa de ressonância é adicionada como amplificador vibrando na mesma frequência da corda, aumentando a intensidade do som produzido. O mesmo pode ser feito de maneira eletrônica como no caso dos captadores e amplificadores de uma guitarra. Nesse caso, o processo envolve fenômenos eletromagnéticos que não serão aqui discutidos pois extrapolam o objetivo do texto.

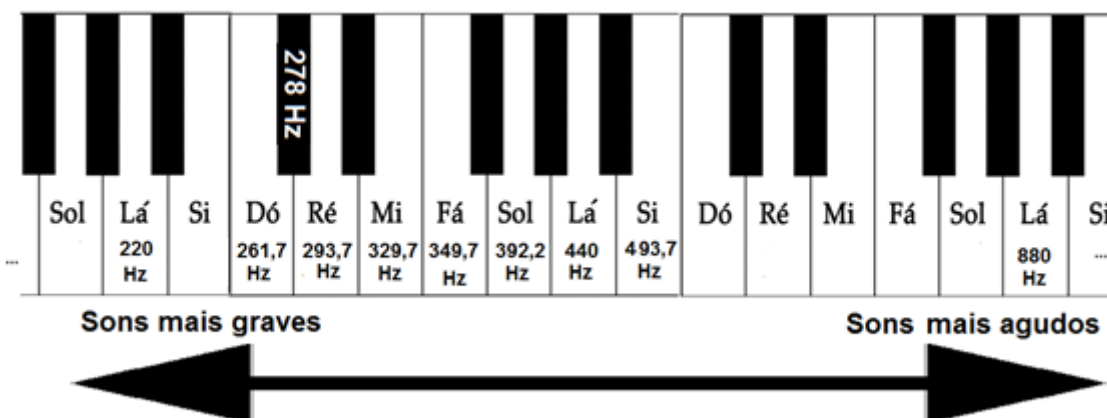
2.3.2.2 A altura

A altura do som é uma importante característica e, embora esteja ligada fisicamente à frequência sonora, costuma ser associada à percepção do ouvido humano para os sons agudos (“finos”) e graves (“grossos”). Nesse sentido, dizemos que quanto mais alto o som, mais agudo ele parece aos nossos ouvidos, ou seja, tons agudos têm frequência mais altas, enquanto tons graves têm frequências mais baixas. Uma confusão bastante comum entre os estudantes, e que precisa ser explicitada, é misturar as ideias de um som alto (muito agudo) e som baixo (muito grave), com som fraco (baixa intensidade) e som forte (alta intensidade).

Conforme Stinglin (2017, p.15), algumas frequências da onda sonora têm uma nota musical correspondente, no caso do piano, cada tecla pressionada emite uma nota musical, portanto uma frequência fundamental padronizada. A nota Lá tem convencionado como padrão de referência para a afinação a frequência de 440 Hz, ou seja, uma onda sonora que oscila 440 vezes em um segundo será percebida como a nota Lá.

Em um piano/teclado há mais de sete teclas explorando um espectro sonoro que não se limita às famosas sete notas musicais. As teclas pretas emitem um som, com frequência intermediária, que ainda é agradável para audição humana. Na figura 10, a frequência aproximada de 278 Hz corresponde à nota Dó sustenido, também chamada de Ré bémol (tecla preta entre as teclas brancas Dó e Ré). Além disso, pela sensibilidade auditiva, duas frequências diferentes podem ser percebidas como a mesma nota musical, assim chama-se oitava a nota seguinte do instrumento que dá início a uma nova escala. Dada uma frequência f , uma oitava acima será dada pela frequência $2f$, duas oitavas acima por $3f$, assim como, uma oitava abaixo tem $f/2$, duas oitavas abaixo $f/3$, assim por diante.

Figura 10 – Representação das notas emitidas pelas teclas de um piano.



Fonte: Adaptado de Felipe Scagliusi

Disponível em: <https://www.aprendendopiano.com.br/entendendo-as-teclas-do-piano/>

Outra notação comum é C para a nota Dó, D para a nota Ré, E para a nota Mi, F para a nota Fá, G para a nota Sol, A para nota Lá e B para nota Si, sendo # para sustenido e b para bémol, notas intermediárias. Desta forma C# é a nota Dó sustenido equivalente a nota Db (Ré bémol).

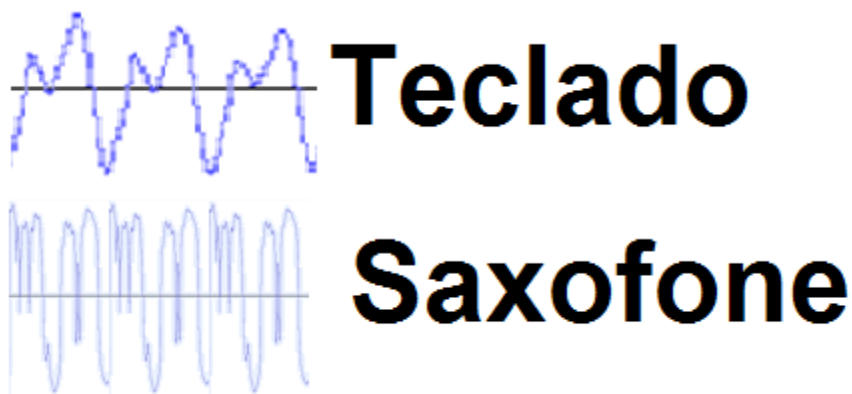
2.3.2.3 O Timbre

A propriedade do timbre permite reconhecer a voz de uma pessoa ou o instrumento do qual o som se origina, ainda que ambos emitam sons com uma

mesma frequência de oscilação. O timbre está relacionado com o formato da onda sonora (figura 11), i.e., a superposição de diferentes harmônicos. De modo geral, os sons vibram na frequência natural (primeiro harmônico) ou em uma mistura do som fundamental acrescido de outros harmônicos.

Dois sons musicais de mesma intensidade e altura ainda podem diferir por outra qualidade, que chamamos de timbre do som. Assim, nosso ouvido distingue claramente a diferença entre a mesma nota lá emitida por um piano, violino, flauta ou pela voz humana, por exemplo. O timbre representa uma espécie de "coloração" do som (NUSENZVEIG, 2018, p.167).

Figura 11 – Representação de uma nota musical (consequentemente o mesmo comprimento de onda) tocada por dois instrumentos diferentes.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Audacity

Embora seja um tema bastante interessante da Física e se relacione diretamente com o dia a dia dos estudantes, é comum que ele seja tratado de forma rápida e superficial nas escolas. Com a carga-horária cada vez mais reduzida na disciplina de Física, Moreira (2018, p. 73) ressalta que as aulas estão focadas em avaliações externas e internas de modo que os professores “que existem são obrigados a treinar os alunos para as provas, para as respostas corretas, ao invés de ensinar Física”.

Pensando nisso e no objetivo de desenvolver uma proposta didática para tratar do tema, realizou-se uma breve revisão da literatura com o objetivo de identificar propostas didáticas tratando do tema acústica. Os resultados de tal pesquisa são apresentados no capítulo seguinte.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A busca por fontes de artigos e dissertações mais recentes relacionados ao ensino de acústica, em especial as que se aprofundam na Teoria da Aprendizagem Significativa, foram essenciais para contextualizar e aprimorar as metodologias de ensino-aprendizagem presentes neste trabalho. Esta revisão de literatura compreende as publicações entre 2009 a 2022 em revistas qualis⁹ na área de avaliação ensino nos níveis mais altos A1, A2 e B1 no Quadriênio 2013-2016 e banco de dissertações do MNPEF¹⁰. A seleção dos artigos foi realizada em duas etapas, enquanto todas as dissertações foram lidas na íntegra com as mesmas palavras-chaves.

Etapa 1: Busca no Google Acadêmico ou direto na plataforma da revista os seguintes descritores. "Ensino de acústica", "UEPS", "acústica", "instrumentos musicais".

Etapa 2: Leitura do resumo e da introdução dos artigos selecionados na primeira etapa com o propósito de avaliar aqueles que tratam do ensino de acústica, excluindo-se, entretanto, aqueles voltados apenas à engenharia. Os artigos com os referenciais teóricos da TAS e da ABP foram lidos na íntegra posteriormente.

Tabela 2: Informações relevantes das publicações sucintas da revisão da literatura.

Qualis	Publicação	Título	Base teórica e/ou metodológica	Ano
A1	Revista Brasileira de Ensino de Física	Demonstração e análise da interferência acústica utilizando um “tubo de Quincke” e a plataforma Arduino.	Experimental	2021
		A poluição sonora e o Ensino de Física.	Sala de Aula Invertida	2021
		Física experimental com Arduino: ondas em uma corda tensionada.	Maker/ Experimental	2020

⁹ Qualis afere a qualidade dos artigos e de outros tipos de produção, a partir da análise de qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, periódicos científicos.

¹⁰ Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacoes>

A1	Revista Brasileira de Ensino de Física	Um olhar físico sobre a teoria musical.	Não identificada	2019
		Descobertas sobre a teoria do som: a história dos padrões de Chladni e sua contribuição para o campo da acústica.	Não identificada	2018
		Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias.	Experimental	2017
		A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória.	Experimental	2015
		As frequências naturais de uma corda de instrumento musical a partir de seus parâmetros geométricos e físicos.	Experimental	2014
		Tensão, calibre e frequência das cordas de instrumentos.	Experimental	2014
		Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio.	Experimental	2013
		Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física.	Experimental	2013
		Uso da ressonância em cordas para ensino de física.	Experimental	2011
		A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica.	TAS	2009
Física e música em consonância.	Experimental	2009		
A2	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	Relato de um Processo Investigativo a partir de Proposições Orientadas de Problemas no Ensino de Acústica.	Proposições Orientadas de Problemas/ experimental	2020

A2	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	O violão no ensino de acústica: uma proposta com enfoque histórico-epistemológico em uma unidade de ensino potencialmente significativa.	Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica	2019
		“É só para ver ou pode mexer?” Abordagem hands-on numa sala de Acústica e feedback dos visitantes.	Experimental	2018
		Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros.	Maker/ experimental	2015
		Sobre a não-linearidade de fenômenos acústicos e o funcionamento da flauta transversa: uma incursão pela acústica musical.	Não identificada	2012
	Revista de Educação, Ciências e Matemática	O papel do youtube no ensino de ciências para estudantes do ensino médio.	Experimental	2017
		Possíveis causas para o desinteresse pela Física na Educação de Jovens e Adultos na região do Vale do Rio dos Sinos.	Experimental	2014
	Investigações em Ensino de Ciências	Análise estrutural de redes semânticas: Um estudo exploratório das relações entre representações proposicionais e evolução conceitual em um tópico da Física.	Mudança Conceitual (Piaget)	2018
B1	Revista de Enseñanza de la Física	Educação sonora contextualizada com a música no ensino de ciências através de ferramentas tecnológicas e histórico-culturais.	Experimental	2021
		Equipamiento de laboratorio de bajo costo: “Tubo de Rubens”.	Experimental	2012

B2	A Física na Escola	O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo.	Maker/ experimental	2011
		O uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para o ensino de acústica no ensino médio.	Não identificada	2009
Produções acadêmicas do MNPEF		Instrumentos Musicais: Contextualizando o Ensino de Acústica. Autora: Caroline M. Canto Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)	Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica	2022
		Implementação de Metodologias Ativas: Aprendizagem baseada em projetos em aulas de Física sobre Acústica no Ensino Médio à Luz dos Campos Conceituais. Autor: Ramón Vieira Araujo UFRS/CLN	Teoria dos Campos Conceituais (Gérard Vergnaud)/ ABP	2019
		Tubo de diretividade sonora (TDS): Confecção de um modelo experimental para o estudo da Acústica. Autor: Paulo Henrique Freitas UFSC	Experimental	2019
		Atividades Experimentais de Acústica para o Ensino de Física: Uma Proposta na Inclusão de Surdos. Autora: Gracilene Gaia Caldas Universidade Federal do Pará	TAS	2017
		Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica no ensino médio. Autor: Lucas J. Bettiol Mazetti Universidade Federal de São Carlos	Experimental/ TAS	2017

Produções acadêmicas do MNPEF	Atividades para o Aprendizado de Acústica. Autor: Ernani V. Rodrigues Universidade Federal do Espírito Santo	Mudança Conceitual (Piaget)	2016
	Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da Física ondulatória. Autor: André Luís Miranda de Barcellos Coelho Universidade de Brasília	TAS	2016
	Aprendizagem Ativa: Uma proposta para o ensino de Luz e Som. Autor: José Rafael dos Santos Universidade Federal de Sergipe	TAS	2016
	Análise de perfil conceitual em ciclos de modelagem: um estudo sobre o ensino do efeito doppler. Autor: Lúcio F. de C. Ezequiel Universidade Federal de Lavras	Experimental/ Ciclos de Modelagem, (David Hestenes)	2016
	A Física da música e a pluralidade didática. Autor: Washington R. Lérias. Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica/ pluralidade metodológica (Paul Feyerabend)	2016
	Acústica e Cidadania: Uma abordagem CTS para o Ensino Fundamental. Autor: Ramon M. de Carvalho Universidade Federal do Vale do São Francisco	TAS	2016

Fonte: Elaborado pelo autor

Martins, Verdeaux e Silva (2009) indicam que a utilização de mapas conceituais/mentais pelos alunos melhoram o desenvolvimento das habilidades e competências com as preposições, hierarquia, e conexões entre os conceitos mais abrangentes e suas especificidades. Em seu estudo de caso, ao comparar o desempenho de duas turmas de segundo ano do Ensino Médio, a turma que teve o acréscimo de mapas conceituais/mentais, como atividades nas aulas de física, obteve os melhores resultados de aprendizagem a longo prazo, apesar de apresentar no teste inicial na primeira aula mais lacunas em relação aos conceitos de acústica.

Carvalho (2016) criou um manual didático para o ensino de acústica para o Ensino Fundamental com enfoque em Ciência, Tecnologia e Sociedade com o tema de poluição sonora. A sequência didática promove a TAS com o conceito inicial de poluição sonora, seguida de conceitos fisiológicos do som, onde as atividades práticas propostas foram o experimento telefone com copos e a análise da intensidade sonora de alguns ambientes manipulando aplicativos gratuitos para *Android* (True tone como gerador de frequência sonoras, Decibelímetro: sound meter como medidor da intensidade sonora e Perfect piano como simulador de piano).

Lerias (2016, p. 9) utilizou o tema a Física da música em seu produto educacional envolvendo “a utilização do máximo possível de recursos didáticos e metodológicos, que fosse atrativa, envolvente e mais significativa ao aluno”. O autor disponibilizou as aulas gravadas¹¹ da implementação do produto em uma turma de segundo ano do Ensino Médio, se destacando o experimento sobre harmônicos em uma corda e uma simulação computacional de harmônicos em um tubo sonoro.

A sequência didática proposta por Coelho (2016) dispõe de um monocórdio de baixo custo, onde é possível medir diretamente a frequência de oscilação e a tensão exercida sobre uma corda. Alinhados com a TAS, o autor identifica os conceitos prévios com a aplicação de questionário inicial e a utilização de mapas conceituais como avaliação à medida que as novas informações são relacionadas aos conceitos já consolidados na estrutura cognitiva.

Freitas (2019) sugere a construção de um “tubo de diretividade sonora de baixo custo” para Educação de Jovens e Adultos (EJA). O experimento pretende

¹¹ Disponível no endereço :
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2>

observar a intensidade e a frequência de ondas sonoras, como também a superposição de ondas sonoras utilizando aplicativos de celular.

Ezequiel (2016) aplica os Ciclos de Modelagem, de David Hestenes em sua sequência didática de nove aulas de ondulatória e do efeito doppler. O autor propõe uma atividade investigativa utilizando a simulação interativa do Phet¹² (Physics Education Technology) sobre ondas em uma corda e uma atividade prática de gravação de áudio de buzina de carro que se desloca com velocidade constante e analisando posteriormente com o *software Audacity* o efeito doppler.

Caldas (2017) apresenta atividades experimentais de Acústica para o Ensino de Física promovendo a acessibilidade e a inclusão de surdos, envolvendo três experimentos (Como enxergar a própria voz¹³, o tubo de Rubens e o tubo de Kundt) com uma abordagem visual das ondas sonoras e harmônicos em tubos sonoros. Ela ressalta também que escolas que atendem surdos devem ser bilíngues com a Língua Portuguesa e a Língua Brasileira de Sinais.

Araujo (2019) apresentou uma Unidade Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) com quatro encontros presenciais de cento e cinquenta minutos contemplando o estudo de ondas sonoras em tubos abertos. Inicialmente utilizando a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud, o autor elaborou um mapa mental com os conceitos prévios de acústica e movimento harmônico simples com alunos e posteriormente empregando a metodologia da ABP, cada um dos grupo de alunos construiu um instrumento de tubo sonoro com policloreto de vinila (PVC), de modo que precisaram calcular o comprimento tubo para algumas notas musicais e posteriormente cortar os tubos deixando margem para afinação através aplicativo de celular.

Mazeti (2017) propõe uma sequência didática fundamentada em TAS com quatro módulos independentes de acústica. Em especial, a construção de instrumentos musicais de baixo custo podem ser recursos compatíveis com esta proposta.

Rodrigues (2016) teve como objetivo “desenvolver um produto educacional em forma de livreto contendo uma série de atividades para o aprendizado de conceitos em acústica e avaliar a viabilidade da utilização desse produto como Material Instrucional (MI) direcionado a alunos do ensino médio”. A partir do MI, as

¹² PhET – Physics Education Technology. Disponível em <http://phet.colorado.edu/>

¹³Disponível no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=6lArl9pCkhs>

avaliações de conceitos de acústica ocorreram em dois momentos, pré/pós teste com quinze questões objetivas cada e na construção de mapas mentais pré/pós a instrução.

Santos (2016, p. 9) elabora uma UEPS com doze aulas divididas em seis encontros para o ensino de Luz e Som, com “a utilização de vídeos, simulações, questões-problema desenvolvidas no Modellus, Instruções por colegas (IpC) e mapas conceituais”. A avaliação desta UEPS aconteceu de forma contínua com IpC, testes pré e pós as aulas e revisão através de mapas conceituais sobre ondas sonoras e ondas eletromagnéticas.

A análise dos textos aqui apresentados apontou relativa diversidade metodológica em iniciativas para o ensino de acústica. Apesar disso, havia a expectativa da identificação de um maior número de propostas dado o potencial de contextualização da acústica proporcionado pela forte relação dos jovens com a música e sons em geral. Além dessa potencialidade, foi possível identificar também que entre as propostas apenas uma fez uso da ABP propondo a construção de instrumento de sopro. Sendo assim, identificou-se a possibilidade de ampliar o alcance do tema propondo uma iniciativa explorando o potencial da metodologia em sua integralidade e a apresentando aos colegas docentes por meio de um *site* específico.

Além das contribuições citadas, esta revisão bibliográfica trouxe contribuições relevantes como a reafirmação da compatibilidade entre ABP e TAS e o potencial dessa combinação na ampliação do engajamento dos estudantes, da contextualização do tema estudado e do uso da ABP como ferramenta metodológica para fortalecer o protagonismo dos estudantes frente à sua própria aprendizagem.

Desta forma, são apresentados no próximo capítulo (Capítulo 4) a estrutura geral do produto educacional bem como a sequência didática planejada para sua utilização.

4 METODOLOGIA DE ENSINO

Considerando os motivos já apresentados, tais como aprendizagem de acústica mais contextualizada com a musicalização e instrumentos musicais foi desenvolvida uma sequência didática orientada pela ABP e pela TAS, tratando do tema de Acústica e apoiada por recursos de hipermídias organizados em um *website* que oferece recursos para alunos e professores. A sequência didática foi preparada tendo como base os princípios da TAS já que trata-se de uma teoria amplamente difundida e aceita no meio educacional, com grande potencial interdisciplinar e compatibilidade com as premissas da ABP. Desta forma, tanto o *website* quanto as ações didáticas nele previstas, consideram princípios como a identificação de conceitos prévios dos estudantes, a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa, o fomento à autonomia dos estudantes, o desenvolvimento de artefatos, entre outros previstos pela TAS e pela ABP.

A seguir são apresentados os detalhes do produto educacional e da sequência didática envolvendo sua implementação.

4.1 Descrição do produto educacional

O produto educacional aqui proposto consiste em um conjunto de recursos de hipermídia reunidos em um *website*¹⁴ voltado aos docentes, incentivando e subsidiando uma primeira experiência com a ABP no contexto do Ensino de Física (Figura 12). A partir disso, há uma seção do *website* designada aos alunos que proporciona um ambiente exploratório acessível para o projeto de Acústica descrito na sequência didática. O *website* é constituído por hipermídias compatíveis com dispositivos móveis na versão Android 4.4.

¹⁴ Disponível em: <https://sites.google.com/view/aprendizagembaseadaemprojeto>

Figura 12 – Página de entrada ao *website*.



Fonte: Elaborado pelo autor

Franca (2009) classifica uma hipermídia como um “mix” de linguagens, uma combinação de textos, sons, imagens, vídeos, um ciberespaço em constante evolução, um suporte através do qual há interatividade entre os usuários e produtor de conteúdo. Nesse cenário, o *website* criado reúne alunos e professor em diferentes contextos e disponibiliza um ciberespaço para abordar a ABP e a TAS (figura 13), bem como os conceitos de Acústica.

Figura 13 – Página destinada a professores descrevendo os atributos e ideias sobre ABP e como elaborar um projeto voltado a TAS.

Como fazer o seu projeto voltado a TAS

Como discutido, a ABP envolve as oito etapas expostas previamente na página inicial. Mas como isso se encaixa na Teoria da Aprendizagem Significativa?

Ao promover a aprendizagem colaborativa, haverá debate e comparação de pontos de vista divergentes; a interação de ideias já existentes (“subsunçores”) com os novos conceitos torna a ABP uma metodologia que que vinculam o ensino a atividades ativas e responsáveis.

Recursos adicionais que você pode usar em seu projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível, também, acessar a área do aluno (figura 14) que direciona para a seção do *website* com alterações visando à formação de um estudante mais criativo

e capaz de tomar decisões no projeto. Os *hiperlinks* contém textos e vídeos discutindo conceitos de onda sonora, geração e transmissão do som, suas qualidades fisiológicas, dicas de construção de instrumentos musicais de baixo custo e até elementos de teoria musical.

Figura 14 - Página inicial da seção para os alunos¹⁵.



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da interação dos recursos adicionais buscou-se maximizar a aprendizagem significativa, requerendo a máxima transformação dos conceitos aprendidos identificando elementos importantes para superar os desafios encontrados no projeto. A cada página, o conteúdo pode engajar no processo do seu desenvolvimento cognitivo de forma não linear, à medida que há escolhas durante a navegação do *website*.

4.2 Sequência didática para implementação

Tomando o *website* desenvolvido como produto educacional, estabeleceu-se uma sequência didática sugestiva para sua implementação. Para tanto, tomou-se

¹⁵Disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

como base as oito etapas da ABP de Bender (2014) propostas por Pasqualetto (2018). O Quadro 1, apresentado a seguir, contempla essas etapas, adaptadas e adequadas à fundamentação teórica de TAS e ao ensino híbrido. Todos os planos de aula estão no corpo do Produto Educacional (Apêndice A) com as orientações das atividades síncronas e assíncronas, com questões-problema para que os alunos investiguem os fenômenos de acústica e construam instrumentos musicais. Apesar disso, cada aula é descrita de forma sucinta após o Quadro 1.

Quadro 1: Cronograma planejado para a sequência didática.

Semana	Etapa da ABP	Processo principal decorrente da TAS
1ª semana	Apresentar o projeto.	Identificação dos conhecimentos prévios.
1ª semana	Planejar o projeto em equipes.	Início da diferenciação progressiva.
1ª semana	Desenvolver a pesquisa inicial	Introdução de organizadores prévios.
2ª semana	Criar, desenvolver a apresentação e os artefatos.	Processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.
2ª semana	Desenvolver a segunda etapa da pesquisa.	Processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.
3ª semana	Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos.	Sistematização e aprofundamentos dos conceitos.
1ª a 3ª semana	Avaliar o projeto.	Avaliação diagnóstica e contínua.
Evento externo/ 3ª semana	Publicar o projeto.	Consolidação ou domínio do que foi estudado.

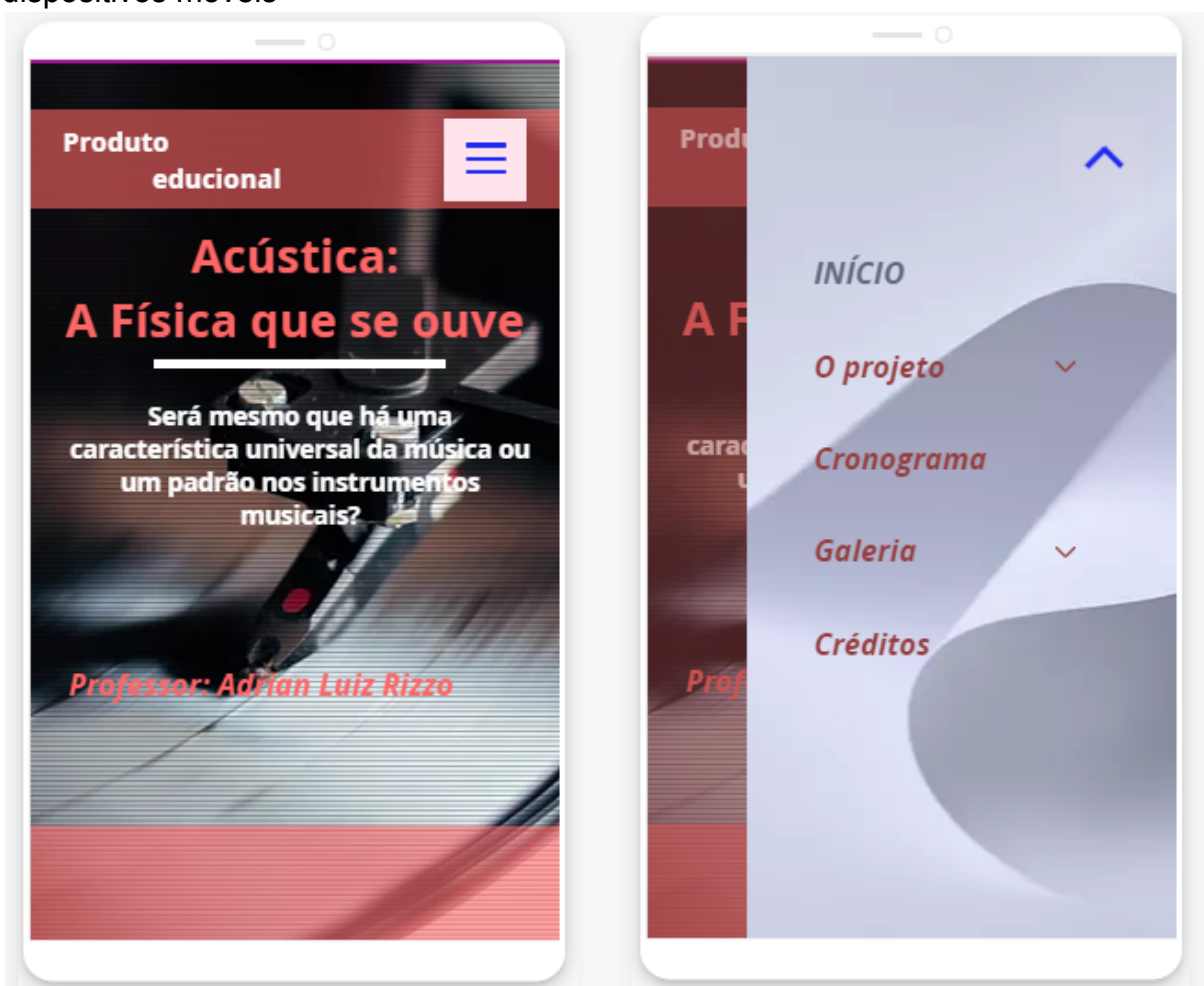
Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.1 Apresentar o projeto

A primeira aula terá como objetivo identificar e ativar os conhecimentos prévios referentes à música, aos instrumentos musicais e aos conceitos físicos, tais como: escala de notas musicais, frequência de onda sonora, tipos de instrumentos musicais, entre outros.

Os alunos terão acesso à seção do *website*¹⁶ como um guia que busca nortear o discente para superação de tarefas da ABP (figura 15). Cada página do *site* direciona a um novo local de exploração (figura 16).

Figura 15 – Menu completo do *website* versão para os alunos que utilizarem dispositivos móveis



Fonte: Elaborado pelo autor

Uma das primeiras páginas a serem visualizadas pelos estudantes é a que apresenta a ideia âncora do projeto: “Será mesmo que há uma característica universal da música ou um padrão nos instrumentos musicais?”. A atividade assíncrona tem como objetivo apresentar o contexto geral do projeto e iniciar uma ativação de subsunçores. Ela oferece um contraponto de músicas orientais com instrumentos com um som agudo e com mais frequências intermediárias comparadas com as músicas ocidentais .

¹⁶ Disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

Figura 16 – Tela de boas-vindas ao projeto de acústica.



Fonte: Elaborado pelo autor

A atividade síncrona utiliza o vídeo “Qual a função da música?¹⁷”, onde um músico expõe que a música é fundamental para a vida, no âmbito social, educacional e cultural. Após a exibição do vídeo, os alunos serão questionados se quais as características dos instrumentos musicais que produzem sons e interferem na sonoridade da música, preparando para a etapa do planejamento do projeto em equipes, com as possíveis respostas como ritmo definido como batidas no instrumento, notas musicais e melodias dependendo do material dos instrumentos musicais são esperadas.

¹⁷ Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=o0UfQDmKPjw>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

4.2.2 Planejar o projeto em equipes

A segunda etapa da ABP, o planejamento das equipes, começa quando o professor explicita que os alunos terão o desafio de desenvolver instrumentos musicais com qualidade e baixo custo. Para tanto, trabalharão em grupos de cinco integrantes a serem escolhidos com a autonomia e afinidade da turma. Entretanto uma forma alternativa para escolha das equipes é o professor selecionar grupos heterogêneos, onde cada integrante do grupo tem habilidades distintas e complementares:

Líder (desempenha liderança no grupo), harmonizador (procura garantir que todos do grupo estejam felizes), comunicativo (é o responsável pela comunicação do grupo), proativo (antecipar futuros problemas, necessidades ou mudanças) e o redator (tem coesão e coerência para registrar os formulários). Os critérios de divisão dos grupos, portanto, não são por afinidade, e sim por potencialidades dos discentes, deste modo todos terão de lidar com as diferenças e se respeitar.

A organização do trabalho em pequenos grupos, com a corresponsabilização de todos os seus elementos e com a diversidade das tarefas e dos materiais a utilizar, pode ser construído o clima favorável ao desenvolvimento da igualdade de oportunidades para todos e para cada um dentro do grupo. Quando os vários elementos do grupo dependem uns dos outros para o sucesso final, todos se esforçam para um bom desempenho, promovendo a cooperação e a colaboração, aplicando a máxima “não se pode ter sucesso sem os outros”. (Sanches, 2005, p.134).

O momento da escolha tipo de instrumento musical começa com a exibição do vídeo “O grupo Fulu Muziki, da República Democrática do Congo, transforma lixo em instrumentos musicais e em figurinos para shows¹⁸”. A exibição tem a expectativa de gerar debate de que é possível construir instrumentos musicais de baixo custo. Neste vídeo, instrumentos de sopro, de corda e percussão são fabricados com resíduos reutilizados e oferecem uma boa qualidade sonora. A turma fará um *Brainstorming* referente a questão motriz do projeto: Como desenvolver instrumentos musicais com qualidade e de baixo custo?

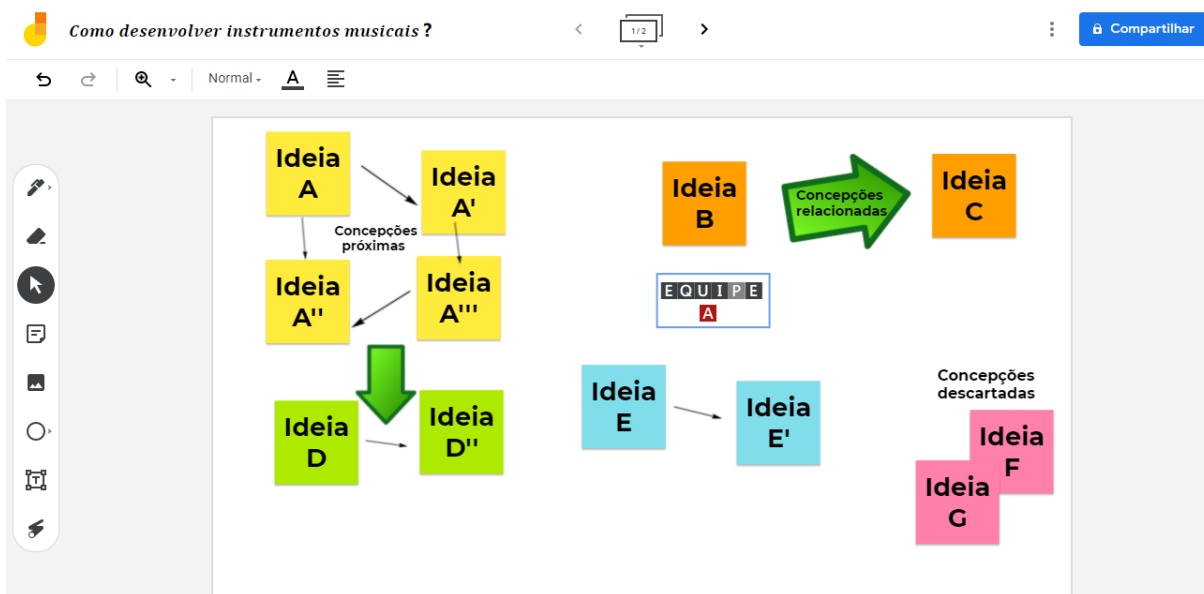
No caso da técnica ocorrer presencialmente para ajudar a desenvolver ideias para o projeto, inicialmente todos os alunos irão expor o máximo de ideias possíveis,

¹⁸Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/do-lixo-aos-palcos/av-51518560>. Acesso em: 20 de abril de 2019 (desativado). Ou disponível em: <https://medium.com/@Lucioalves/fulu-miziki-a-genial-m%C3%BAAsica-do-congo-rd-que-transforma-lixo-em-arte-38b4098cd822>. Acesso em: 19 de outubro de 2022.

o que é importante para começar a pesquisa, as ideias serão escritas no quadro por um aluno voluntário e posteriormente discutidas com o grupo todo. Caso o encontro seja *on-line*, a plataforma do *Google Meet* permite a utilização da ferramenta *Jamboard*¹⁹.

O professor como mediador irá orientar os participantes durante as atividades propostas, nesse caso o mediador incentivará os alunos a pensar em perguntas que auxiliam na resolução da questão motriz e em momento nenhum irá criticar as sugestões dadas, pois pode ocasionar um bloqueio criativo da turma. Esgotada a etapa de divergência de ideias, haverá uma avaliação da turma para convergência das ideias mais relevantes (ideias próximas serão incorporadas à ideia central). Durante o encerramento desta etapa, todas as ideias levantadas serão respeitadas, desenvolvendo um mapa conceitual com a síntese das ideias mais relevantes no quadro-branco ou no *Jamboard* (figura 17).

Figura 17 – Utilizando Jamboard para o processo de síntese das ideias.



Fonte: Elaborado pelo autor

Cada equipe terá que manter os quadros de gerenciamento interno atualizados e cumprir os prazos previstos no cronograma geral a ser apresentado pelo docente. O objetivo de solicitar este resumo por escrito do planejamento do grupo é o aumento do comprometimento de cada um dos integrantes. Em especial,

¹⁹ Aplicativo que faz parte do G Suit, no estilo quadro-branco com conectividade de uma tela interativa.

o Quadro 2 auxilia na investigação dirigida e será impresso para todas equipes, mas pode ser preenchido de forma online.

Quadro 2 – Quadro que auxilia na investigação dirigida²⁰ pelos alunos.

O que faremos?	O que precisamos saber?	O que aprendemos durante as pesquisas?
Outros pontos importantes:		

Fonte: Adaptado da sugestão de Bender (2014, p.114)

Espera-se encontrar no Quadro 2 relatos que vinculem os sons ao conceito físico de ondas sonoras. Dependendo das decisões de cada equipe, ficarão como sugestões as seguintes perguntas norteadoras dependo do instrumento escolhido por cada equipe:

- a) Instrumentos de corda: Por que o som de um violão é diferente do som de um violino? O violão tem uma abertura no seu corpo. Para que serve isso? Cada corda emite um som diferente? Quais materiais para construção são necessários?
- b) Instrumentos de sopro: Em uma flauta, o tamanho e distância dos furos interfere no som produzido? Quais materiais para construção são necessários?
- c) Instrumentos de percussão: Como produzir um instrumento com altura (frequência) do som definida? Quais materiais para construção são necessários?

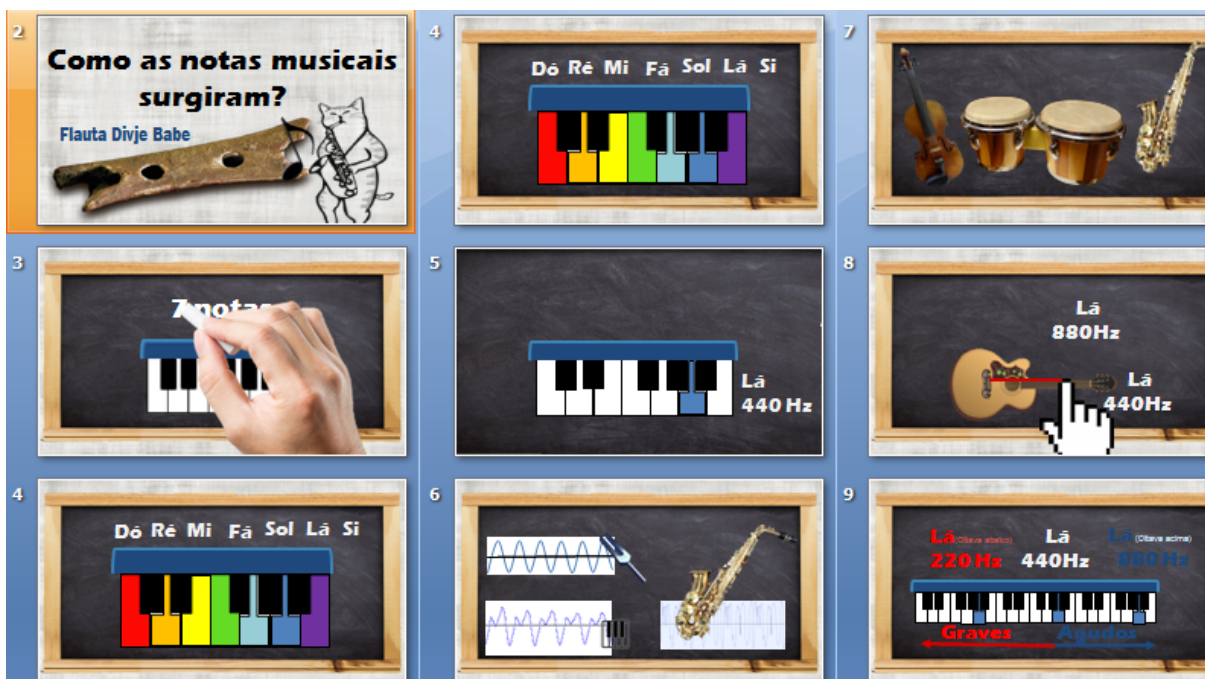
4.2.3 Desenvolver a pesquisa inicial

Dando continuidade, a segunda aula tem como objetivo desenvolver a pesquisa inicial através da apresentação intitulada “como as notas musicais

²⁰Todas as alterações são salvas automaticamente à medida que cada usuário digita. Cada um da equipe pode usar o histórico de versões do documento caso queiram resgatar uma versão antiga, e até ver o nome de quem fez cada uma das alterações. Os quadros estão disponíveis em: <<https://docs.google.com/document/d/1iJmZ7-3DAmTuTuzw252vsriottqswfdg1OVuSr0RUuw>>

surgiram?” (figura 18). Esta apresentação pode ser visualizada na íntegra na seção mini lições, com o objetivo de abordar idéias mais gerais para diferenciar propriedades do som (altura, intensidade, timbre).

Figura 18 – Esboço da apresentação como organizador prévio de notas musicais.



Fonte: Elaborado pelo autor

Dando uma contextualização histórica, a flauta de Divje Babe é um dos instrumentos musicais mais antigos (estimativas datam de 43.000 anos A.C) e o distanciamento dos furinhos circulares no osso sugere que a música já estava presente, com as notas que a gente toca atualmente, surgindo de forma natural na base da intuição de som que agradam a espécie humana. Na cultura ocidental surgem as sete notas musicais que estão relacionadas a frequência de oscilação padronizadas.

Aqui há as primeiras características fisiológicas do som, como a altura e o timbre do som. Mesmo notas musicais com a mesma altura (frequência de oscilação) são diferenciadas pelo timbre, o formato da onda. Essas informações provavelmente serão escritas no quadro 2, sendo uma tarefa do redator da equipe.

Como os grupos têm autonomia para definir os responsáveis pelas tarefas e papéis dentro da equipe, essas responsabilidades poderão ser alteradas durante o projeto desde que informadas ao docente. Cada equipe terá reuniões presenciais na

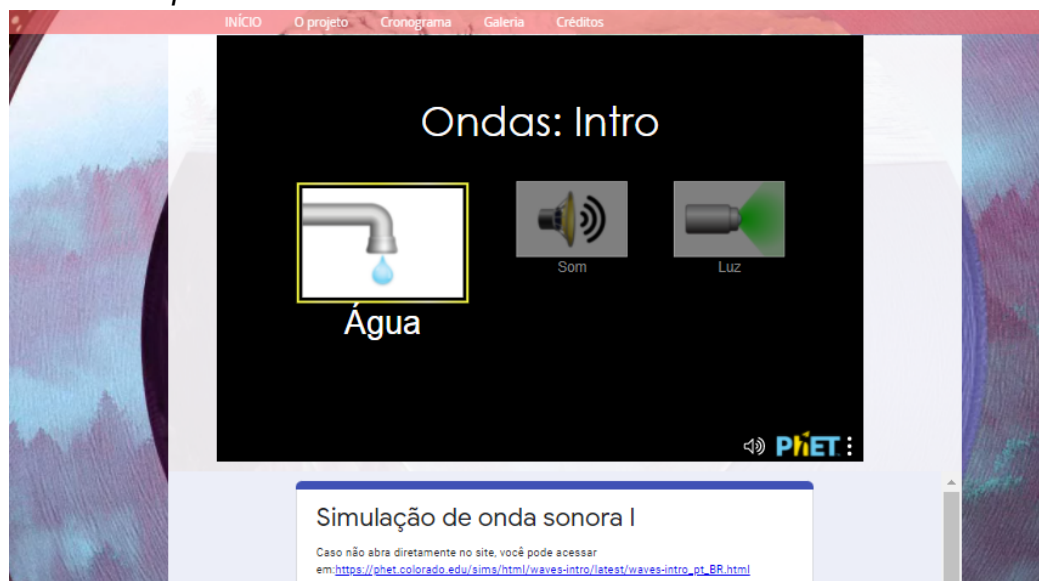
própria sala de aula ou na biblioteca, definindo a cada reunião um redator (deve ser alternado essa função) que anotarás as questões principais discutidas pelo grupo. Caso a aula seja on-line, todos os integrantes devem ser redatores do quadro utilizando o Google documentos.

4.2.4 Criar, desenvolver a apresentação e os artefatos

A terceira aula é destinada a criar, desenvolver a apresentação e os artefatos. Neste ponto podem ser realizadas lições curtas com um experimento em foco que apresenta informações relevantes de acústica. Estas mini lições, descritas no apêndice B, possuem duração média de 10 a 15 minutos, como recomenda Bender (2014, p.48), e são usadas conforme demanda específica dos grupos que delas necessitarem. No caso específico do *Website*, estão disponíveis na forma de pequenos vídeos²¹.

Outra estratégia didática para apoiar as equipes na etapa de pesquisa são as *webquests*. Estes recursos estão nos planos de aulas e também estão todos incorporados no *website*. A primeira delas, “ondas sonoras I”, tem o objetivo de introduzir detalhes específicos necessários sobre frequência e comprimento de onda (Figura 19) por meio de questionamentos acerca de um experimento virtual do Phet.

Figura 19 – *Webquest* “ondas sonoras I”

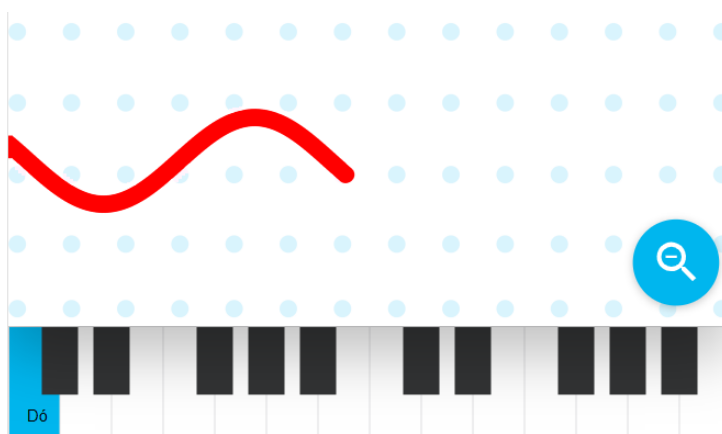


Fonte: Elaborado pelo autor

²¹ Vídeos das mini lições disponível em: sites.google.com/view/aprendizagembaseadaemprojeto/como-fazer-a-seu-projeto

A *webquest* intitulada “ondas sonoras II”, por sua vez, explora os recursos da simulação de Lundin (2019). Nela é possível visualizar uma representação da onda sonora por meio do gráfico da posição de uma molécula de ar (figura 20)., o que permite a visualização da onda sonora na forma de sua representação senoidal. Cada uma das teclas emite uma onda com diferente frequência e comprimento de onda permitindo que o estudante interaja associando a representação da onda sonora com sua percepção auditiva.

Figura 20 – Na simulação os pontos azuis representam moléculas de ar que se vibram na frequência de emissão do teclado virtual (Dó – 258 Hz)



Fonte: *print screen* da simulação *chrome experiments Sound-Waves*

Na referida *webquest*, portanto, são propostas algumas situações para que o aluno investigue o fenômeno em questão e são propostas algumas perguntas que os orientam em uma reflexão sobre o que já foi desenvolvido. Destaca-se:

- a) Como produzir um instrumento com som forte?
- b) Aspectos que alteram a frequência emitida pelo seu instrumento musical planejado?

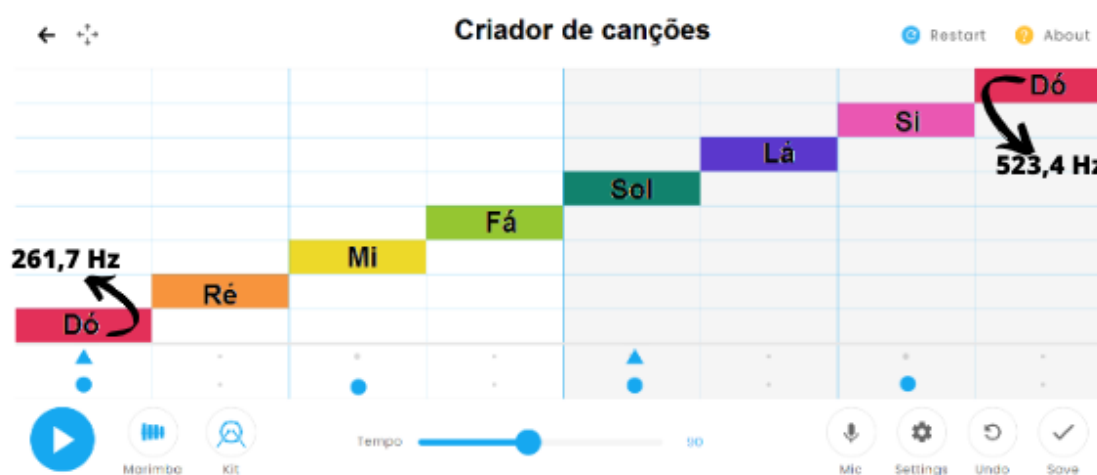
4.2.5 Desenvolver a segunda etapa da pesquisa.

Para a quarta aula, é prevista a segunda etapa de pesquisa, onde o professor disponibiliza informações complementares, neste caso utilizando o laboratório

musical do Google para criar uma música simples²². Dentre as informações apresentadas, o conceito do ritmo ressaltado, afinal quem nunca percebeu o fato de que quase todo indivíduo é capaz de bater os pés no ritmo de uma música que escuta” (ROCHA; BOGGIO, 2013, p.134).

O criador de canções é projetado para ser intuitivo, clicando na grade adicione notas (figura 21), mais detalhes da atividade na *webquest* “criando uma canção”. Esta simulação deixa explícita a relação entre as frequências de notas musicais de oitavas diferentes e que apenas algumas frequências combinam e soam agradáveis.

Figura 21 – A nota Dó uma oitava acima emite um som mais agudo com o dobro da frequência original da nota Dó.



Fonte: *print screen* da simulação

Tendo interagido com a simulação e efetivado um levantamento dos materiais necessários para a construção dos instrumentos musicais, cada grupo se dará início à construção do protótipo final do instrumento. Nessa etapa o professor irá orientar o trabalho cooperativo destacando os pontos fortes e possíveis melhorias do trabalho já desenvolvido.

4.2.6 Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos.

Para a quinta aula está previsto o desenvolvimento da versão final da apresentação e dos artefatos. Nesta etapa serão realizados os ajustes finais do

²² Música inspirada em We Will Rock You de Queen disponível em: <<https://musiclab.chromeexperiments.com/Song-Maker/song/4707680225067008>> Acesso em: 20 de maio de 2020.

instrumento que já foi construído, avaliado e que agora necessita de ajustes para a utilização. Além de sua construção há de se considerar a afinação que, por se tratarem de instrumentos artesanais, será feita por *software*²³. Porém, dependendo da escolha do tipo de instrumento musical, há características que interferem na frequência sonora emitida que os alunos irão investigar com maior profundidade.

A *webquest* “afinação dos instrumentos” (figura 22) é útil quando o protótipo do artefato musical estiver pronto. As equipes sentiram a necessidade de conhecer as propriedades dos instrumentos musicais que interferem na afinação que são apresentadas no quadro 3.

Figura 22 - Cada equipe será direcionada à *webquest* de afinação correspondente ao seu instrumento musical.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 3: O que faz com a frequência sonora produzida com a alteração dos seguintes parâmetros do instrumento musical?

Instrumento de corda	Tração (esticar ou afrouxar) a corda, comprimento, espessura da corda.
Instrumento de sopro	Comprimento do tubo, área transversal.
Instrumento de percussão	Tração (esticar ou afrouxar) membrana em um 'pandeiro', comprimento da superfície de percussão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

²³ Um aplicativo gratuito chamado Soundcorset afinador e metrônomo.

4.2.7 Avaliar o projeto

Nesta etapa da proposta diversas iniciativas de avaliação já ocorreram. Apesar disso, existem algumas ações importantes que podem ser ampliadas ou mesmo estabelecidas no processo de avaliação. A primeira forma delas é a análise dos quadros utilizados na investigação dirigida pelos alunos, possibilitando verificar as tarefas já cumpridas e tudo que foi desenvolvido pela equipe. Isso permite não só a avaliação docente como também uma autoavaliação do grupo. Por tratar-se de métodos avaliativos não comuns aos estudantes, o professor poderá dar apoio diferenciado em função das dificuldades, interesses e potencialidades específicas de cada grupo.

Algumas *webquests* apresentam *feedback* automático, mesmo assim é importante o acompanhamento docente e uma conversa com os estudantes sobre o andamento das tarefas e sobre o projeto como um todo.. A cada *webquest* tem um espaço para que aluno expresse a sua opinião em relação às atividades, o que pode ajudar o docente na condução destas conversas.

Por fim, há de se citar outra estratégia didática a ser utilizada, a rubrica (quadro 4). Esse instrumento lista os critérios de avaliação a serem utilizados pelo professor ao avaliar a apresentação do instrumento musical construído. Com isso, não só cada grupo pode manter uma constante autoavaliação sobre o trabalho, como é possível promover uma avaliação por pares fundamentada em critérios comuns.

Quadro 4: Rubrica da apresentação para a turma do instrumento musical.

<u>Descrição da tarefa:</u> As equipes devem desenvolver uma apresentação do instrumento musical construído e expor para turma com um guia ilustrado contendo suas principais características. As apresentações devem ser de, aproximadamente, 10 minutos. Avalie as demais equipes com os indicadores, concedendo pontos e argumentando com bases nos conceitos de acústica.		
Questão	Indicadores	Comentários e pontos concedidos
Caracterização do instrumento musical (30 pontos da pontuação)	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta como o som é produzido pelo instrumento. • Descreve as etapas de construção. 	

<p>Afinação do instrumento (30 pontos da pontuação)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Sugere os aspectos principais que alteram a frequência de oscilação. ● Propõe maneiras de afinar o instrumento. 	
<p>Impacto da apresentação (30 pontos da pontuação)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Uma melodia curta foi apresentada. ● Essa apresentação é adequada ao uso para comunidade escolar. ● O guia ilustrado foi bem elaborado. 	
<p>Eficiência geral (10 pontos da pontuação)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Essa apresentação é conveniente e atraente ● Essa apresentação me convenceu. 	

Fonte: Adaptado da sugestão de Bender (2014, p.135)

4.2.8 Publicar o projeto

Para o último encontro, espera-se que cada grupo apresente para a turma, um guia ilustrado com as principais características do instrumento musical construído, explicando como tomaram as decisões para afinação e aumentar a qualidade sonora produzida pelo instrumento. Essa atividade é uma oportunidade de compartilhar as experiências de cada grupo durante a afinação dos instrumentos musicais. O ideal é que nesta fase os grupos façam a divulgação dos resultados para o público geral envolvido no contexto de origem do problema que originou a proposta. Propõe-se, por exemplo, que ocorra uma apresentação artística na escola ou fora dela usando os instrumentos construídos. Pode ser realizada uma parceria com outras entidades ou pessoas para que os instrumentos desenvolvidos sejam utilizados em iniciativas de musicalização, entre outras opções. O importante é que de alguma forma haja uma divulgação do trabalho realizado que ultrapasse os interesses acadêmicos e apresente as soluções desenvolvidas como opção de resposta ao problema autêntico que originou a proposta.

Infelizmente, como será apresentado no capítulo seguinte, no período de implementação desta proposta todos os eventos externos foram cancelados em função da pandemia do Covid-19, impossibilitando a apresentação para comunidade conforme previsão inicial. Além desta, foram necessárias também outras adaptações devido ao período de pandemia que também estão descritas no Capítulo 5 junto com uma descrição detalhada do processo de implementação da proposta até aqui apresentada.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo pretende apresentar o relato da aplicação do produto educacional que ocorreu em seis encontros no período de onze de novembro a seis de dezembro de 2021. No decorrer dos diversos momentos do processo de ensino-aprendizagem proporcionados pelos encontros desta sequência, destaca-se a busca de subsídios para uma coleta e análise dos dados de forma clara e objetiva com a intenção de compreender os impactos da proposta e o cumprimento das metas propostas. Dentre eles destacam-se os questionários digitais realizados durante as webquests, as rubricas de avaliação bem como anotações realizadas pelo professor ao longo das aulas e as gravações de áudio e vídeo.

5.1 Contexto da aplicação do produto educacional

Dada a organização da sequência didática apresentada anteriormente, apresenta-se informações sobre o contexto em que a proposta foi implementada visando sua avaliação prática. A aplicação ocorreu no Colégio Estadual Farroupilha. Trata-se de um colégio público urbano da rede estadual de ensino do Rio Grande do Sul, localizado no município de Farroupilha. Sua fundação ocorreu em 1927 e ocupava uma área construída aproximada de 756 m² e área externa de 800 m² para prática de esportes.

O colégio atualmente conta com catorze salas de aula e setenta funcionários, atendendo no turno da manhã e tarde o Ensino Médio e no turno da noite o Ensino de Jovens e Adultos. Conforme o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), em 2021 contava com 724 alunos matriculados, oriundos de todos os bairros do município de Farroupilha. O INEP atribuiu o nível socioeconômico²⁴ como muito baixo para o colégio, isto indica que mais da metade dos estudantes responderam, no questionário do Sistema de Avaliação da Educação Básica de 2019, que sua renda familiar mensal era de até um salário mínimo e seus pais possuíam ensino fundamental completo ou estavam cursando esse nível de ensino.

²⁴ O Inep classificou as escolas em seis grupos: muito baixo, baixo, médio baixo, médio alto, alto e muito alto.

O colégio possui um laboratório de informática amplo, com dez computadores operacionais, mas sem nenhum responsável pelo local, e um laboratório de Ciências com poucos equipamentos, sendo frequentemente usado como espaço para aulas das disciplinas da área das ciências da natureza. Além disso, a escola dispõe de uma biblioteca que conta com uma funcionária nos turnos da manhã e tarde.

A implementação ocorreu em uma turma de 2º ano do Ensino Médio da escola, em função da organização curricular da disciplina de Física. A turma tinha vinte estudantes matriculados²⁵ no turno da manhã com idades entre dezesseis a dezoito anos. A turma era composta por doze alunas e oito alunos, sendo que dois deles tinham distorção idade-série, além disso, quatro deles trabalhavam meio período no turno da tarde.

5.2 Relato circunstanciado

Nas seções que seguem busca-se descrever detalhadamente o que ocorreu em cada uma das aulas destinadas ao ensino de acústica através da ABP. Alguns acontecimentos relevantes serão posteriormente analisados no sexto capítulo a fim de discutir alguns resultados obtidos.

5.2.1 Aula do dia 11/11/2021 (100 minutos)

O primeiro período desta aula ocorreu no laboratório de informática devido a problemas de conexão à internet. Deste modo, os alunos se reuniram em torno da mesa central para apresentação inicial da proposta e do *website* criado para auxiliar no andamento do projeto de acústica.

Para inserir os estudantes no contexto da proposta, foi exibido um vídeo nomeado como ‘Qual é a função da música?’ seguido de um trecho curto de uma indiana composta por mais frequências intermediárias que as músicas ocidentais. Tais materiais já foram apresentados a partir do *website* do projeto, na página ‘etapas’ que contém ainda um panorama geral do projeto.

Com base na importância da música, questionou-se a turma sobre o problema da musicalização ser tardia ou mesmo não existir, uma vez que nem todas as pessoas têm acesso a conhecimentos musicais. Apenas um aluno da turma avaliada

²⁵ Todos os responsáveis pelos alunos participantes da pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice E).

sabe tocar violão e relatou que só começou a ter contato com instrumentos musicais quando foi convidado para a banda e coral da igreja na qual frequenta, insinuando que o ensino de música seria muito importante.

“Eu sei tocar violão, profe [...]. Mas vejo que na escola nunca teve esse lance de música, de tocar instrumentos musicais e seria muito legal e imprescindível ter nas escolas.” Estudante A

A notícia exibida a seguir foi sobre o grupo Fulu Muziki, da República Democrática do Congo, que transforma lixo em instrumentos musicais e em figurinos para shows, Essa reportagem serviu como engajamento cognitivo e emocional com o projeto de construir o seu próprio instrumento musical de baixo custo e de qualidade para promover a musicalização infantil.

“Com poucos recursos é possível construir um instrumento musical, eu vou orientar vocês em equipes e vocês terão o site para ajudar neste projeto de vocês.” - Professor

“Acredito que vai sair um instrumento legal, mas e os materiais podem ser reciclados?” - Estudante B

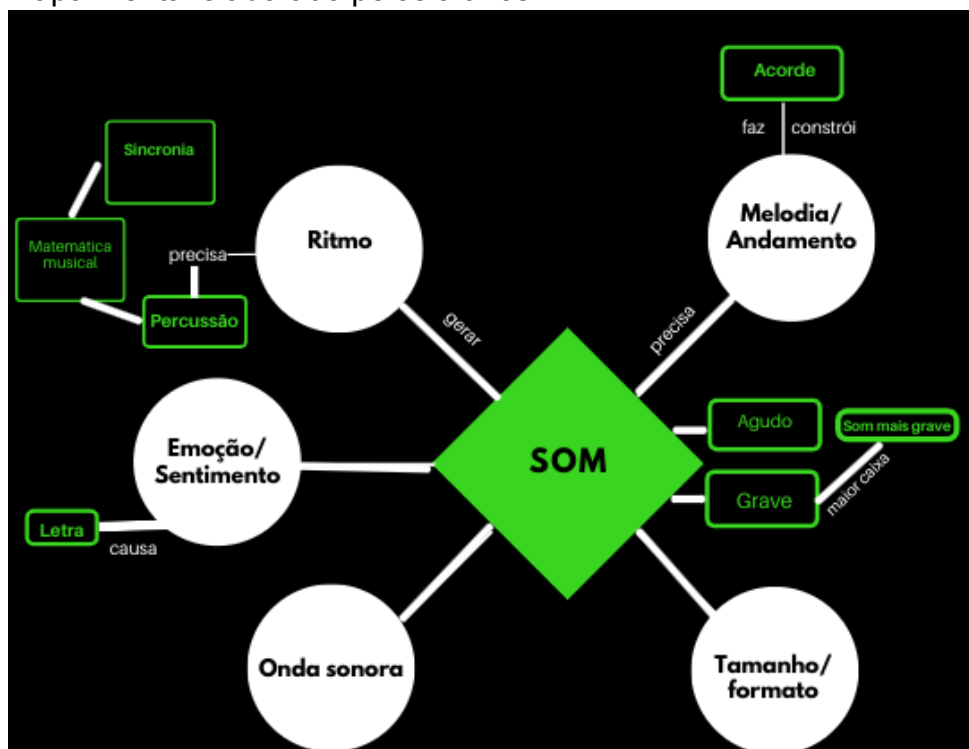
“Sim, deve ser de baixo custo de forma a ser usado na musicalização infantil.”
- Professor

Para começar as pesquisas sobre o tema, o professor conduziu a turma inteira na construção de um mapa mental a partir da dinâmica de *Brainstorming*. A discussão se deu a partir da questão: Quais são as características da acústica e da música que devemos levar em conta para construção de um instrumento musical?

Nesta atividade, enquanto o professor orientava a discussão, um aluno anotava no quadro branco as ideias apresentadas pela turma. Os alunos identificaram muitos conceitos que inicialmente foram apenas listados no quadro e posteriormente, após esgotada a discussão, organizados na forma de um mapa mental simplificado. O conceito central elencado foi o som e dele foram surgindo várias ideias relacionadas que deram origem ao mapa mental da figura 23.

O conceito de onda sonora foi citado, mas a aluna não sabia como ele se relacionava com as demais ideias conectando diretamente com o termo som. Na verdade, foi possível perceber que nesse ponto da proposta, a preocupação e os comentários da turma estavam mais relacionados a conceitos musicais do que aos conceitos físicos, talvez pela ausência de correlação explícita entre eles em suas estruturas cognitivas.

Figura 23 - Mapa mental elaborado pelos alunos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Após o intervalo, já na sala de aula usual da turma, os alunos formaram grupos de até cinco integrantes com objetivo de construir o seu próprio instrumento para apresentar na data prevista inicialmente para 29.11.2021. Os alunos tiveram autonomia para escolher os integrantes de cada equipe e definir qual seria o tipo de instrumento musical foco da pesquisa do projeto. A opção de que as equipes fossem organizadas pelos alunos e, portanto, utilizando a afinidade como critério se deu em função das condições impostas pelo período de retomada de atividades presenciais em meio a pandemia da COVID-19.

Quatro equipes foram formadas e o professor acompanhou parte de cada uma das reuniões, também no formato de *Brainstorming*, mas agora separada por equipes. Cada equipe tinha ao menos um integrante conectado à internet através de seu celular.

O endereço da seção foi compartilhado no grupo de whatsapp da turma e todas as equipes conseguiram acessá-lo, apesar da instabilidade da conexão de internet no momento. Os alunos foram orientados pelo docente que na aba cronograma do *website*, existia um calendário com as principais tarefas do projeto e seus respectivos prazos, de forma que cada equipe poderia se organizar e construir seu próprio cronograma a partir dele. Além disso, o docente tomou o cuidado de

entregar a cada grupo ao menos uma cópia de um quadro construído para auxiliar os grupos na investigação dirigida pelos estudantes.

Uma das equipes decidiu que iria fazer dois instrumentos musicais. Foram orientados que cada equipe teria que desenvolver uma apresentação de, aproximadamente dez minutos, sobre as características do instrumento musical, relacionado-as com os conceitos de acústica por meio de um guia ilustrado. Em função disso, foi sugerido que essa equipe escolhesse um deles como instrumento principal, pois não conseguiria realizar a atividade completa para ambos.

Dentre as várias falas e conceitos levantados durante as discussões das equipes, foi possível perceber que o conceito sobre som alto não condiz com a concepção dada ao termo dentro da acústica, sendo frequentemente confundido com o som forte. Em função disso, o docente informou que iria trazer um experimento tratando exatamente sobre a diferença entre os conceitos de som alto e sua comparação com som forte.

A aula foi encerrada com orientação para escolha dos instrumentos musicais por cada equipe (Quadro 5). Os alunos tiveram liberdade para escolher o tipo de instrumento musical e isto está previsto, pois as *webquests* contemplam as diferentes formas de como as ondas sonoras foram produzidas e possíveis maneiras de afinação.

Quadro 5: Formação das equipes e os instrumentos musicais escolhidos por cada uma delas.

Equipe	Estudantes	Artefato a ser construído
1	D, F, G, N, O	Mini Bateria
2	A, B, J, P, R, S	Violão
3	E, G, H, I, Q, U	Xilofone de garrafas
4	C, K, L, M, T, V	Tambores

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.2 Aula do dia 18/11/2021 (100 minutos)

Logo no início da aula os alunos naturalmente se organizaram nos grupos e, logo após a chamada, o professor iniciou a mini lição sobre o disco de vinil

(apêndice B), com objetivo de diferenciar o som baixo (de baixa frequência) do som fraco (baixa intensidade) e o som alto (de alta frequência) do som forte (com intensidade maior). Essa atividade envolveu um experimento simulando uma vitrola, onde ao morder uma estrutura com um hashi com uma agulha na ponta e ao encostar em um disco de vinil girando através de um suporte de papelão, a música do disco começará a ser ouvida através da mandíbula. Para que todos os grupos tivessem acesso à atividade, ao menos um integrante de cada grupo realizou a experiência de tocar o disco de vinil na mandíbula. Essa atividade durou 20 minutos envolvendo a participação de todas as equipes.

A atividade causou uma animação nos alunos que, ao conseguirem ouvir o conteúdo do vinil por meio dos ossos do rosto, manifestaram surpresa e empolgação. Dentre as falas destacou-se a de um aluno que comentou que quando girava o disco rápido, o som ficava agudo demais. Entretanto, uma equipe não conseguiu realizar a experiência, o que levou a uma variação do experimento a fim de resolver a questão. Ao modificar a experiência usando a agulha e um copo, foi possível ouvir o som do disco e o comentário foi que parecia uma estação de rádio tocando música com chiado (devido ao som emitido pelo atrito agulha). Nesse processo algumas falas se destacaram pela aparente incorporação da visão científica dos conceitos.

“O som tá muito baixo para ouvir.” - Estudante B

“Se você não ouve é porque o som é fraco, mas vamos tentar deixar mais (o som) forte colocando um copo!” - Professor

“O copo tá tocando a música com chiado, muito engraçado e legal. Como isso é possível?” - Estudante C

“A agulha vibra devido a ranhuras do disco e a frequência que oscila é transmitida para o copo que vibra, amplificando e deixando o som mais forte.” Professor.

“O som fica muito fino quando acelero o giro do disco, fica muito estranho, a voz fica fina.” - Estudante A

“É que a agulha vibra com frequência mais alta, esse som fica mais agudo. Sons agudos são som altos em contrapartida aos sons graves. Os sons mais graves são aqueles com frequência mais baixa, por isso, sons baixos são sinônimos de sons graves.” - Professor

“Então, o (instrumento) baixo é aquele com o som mais grave!” - Estudante A

“Você tem razão, o instrumento contrabaixo é o que tem o som mais grave, sendo um som baixo. Já o som fraco da agulha, que um dos grupos não conseguiram ouvir direito, ficou mais forte com o copo, já ouviram falar do gramofone, que é bem parecido com essa experiência?” - Professor

Quando o professor associou com um gramofone à experiência, uma aluna procurou uma foto e apresentou para turma pela tela de seu notebook. A aluna D comentou que *“a agulha vibra devido às ranhuras no disco, as vibrações da agulha são amplificadas no cone do gramofone, já vi no (vídeo do) Manual do mundo que nesta experiência, é pela mandíbula (amplificado) e fará propagar som diretamente pela caixa craniana.”*

Aproveitando a empolgação gerada pela experiência e as discussões iniciadas, o docente sugeriu que, na continuidade dos trabalhos, todas as equipes fizessem a leitura do do texto de apoio que se encontra no *website* bem como realizassem a *webquest* Ondas Sonoras I. Desta forma todas as equipes começaram a *webquest* ondas sonoras I seguindo nela até o horário de intervalo.

No retorno do intervalo o docente aproveitou a discussão prévia sobre sons agudos e graves e apresentou uma partitura destacando a nota Lá com frequência de 440Hz e a oitava acima 880 Hz (frisando que esta nota é um som mais alto que a primeira nota Lá). Os alunos acessaram a simulação da *webquest* “ondas sonoras II” pelo celular. Nesta simulação utilizaram um teclado virtual no qual a sexta tecla branca à esquerda emite a nota Lá e pontos azuis representam as moléculas de ar vibrando na frequência de 220 Hz. É possível também tocar a nota Lá uma oitava acima, i.e. a 440 Hz, o que permitiu que os discentes percebessem que o comprimento de onda diminui pela metade, mesmo que a nota pareça soar da forma semelhante, porém mais aguda.

Seguindo com o trabalho, cada grupo teve orientações específicas para o andamento do projeto e receberam uma cópia impressa da rubrica (Quadro 4) com os critérios de avaliação da apresentação dos instrumentos musicais escolhidos por cada equipe.

Com diferentes ritmos das equipes, as equipes foram orientadas a não faltar a apresentação com o panorama geral de acústica, em especial o contexto histórico de como surgiram as notas musicais e associando-as aos conceitos de frequência e período de uma onda sonora.

5.2.3 Aula do dia 22/11/2021 (50 minutos)

Com o objetivo de retomar a discussão sobre as características do som iniciadas pelos grupos na aula anterior, os alunos foram reunidos no laboratório de informática para que tivessem acesso a um material audiovisual. Inicialmente ocorreu a apresentação de “Como as notas musicais surgiram?” abordando o contexto histórico da primeira flauta construída que se tem registro há cerca de 43000 anos, relacionando esse registro com a frequência emitida pela flauta na escala ocidental Dó, Ré, Mi, Fá Sol, Lá, Si. A partir da apresentação inicial vários comentários surgiram. A seguir são apresentados alguns desses comentários a título de exemplificação.

“Então é assim, a nota Mi tocada por cada instrumento tem a mesma frequência, mas com formato de onda diferente?” - Estudante D

“No violão há duas cordas Mi quando eu afinio elas, a corda Mi de Nylon toca bem mais agudo.” - Estudante A

“Algumas frequências são relacionadas a uma determinada frequência, mas os múltiplos inteiros soam a mesma nota, 220Hz é Lá mais grave que 440 Hz, neste caso dobrei a frequência, mas a nota continua sendo a nota Lá, uma oitava acima!” - Professor

“Não entendi nada!”- Estudante E

“Não tá vendo aí, uma oitava acima é o dobro da frequência [...] 880Hz seria um Lá mais fino, quer dizer agudo. Igual ao violão que dá pra tocar a mesma nota musical só que bem mais aguda uma oitava acima.” - Estudante A

“Entendi, mas continua soando a nota, mas com o dobro da frequência fica mais agudo.” - Estudante E

“Nossa uma mesma nota tocada por instrumentos diferentes tem formato diferente, mas tem a mesma frequência.” - Estudante A

“Isso eu já sabia (ao encurtar a corda de violão pela metade, continua sendo a mesma nota, mas mais aguda). Tudo tem a ver com o comprimento de onda estar relacionado com o comprimento da corda?” - Estudante A

O grupo 1 utilizou os vinte minutos finais para construir um protótipo da mini bateria (figura 24), enquanto os demais grupos fizeram a webquest ondas sonoras II. Em conversa com o grupo 1, as falas de uma das alunas chamou a atenção pela representação de motivação externada.

Figura 24 - Protótipo da mini bateria com tambores feitos de embalagens vazias pelo grupo 1.



Fonte: Elaborado pelo autor

“Achei bem legal, nossos instrumentos podem ser usados com crianças, ainda mais se os materiais forem de sucata. Mas essa mini bateria vai ser difícil de fazer, fazia tempo que eu não pensava tanto.” - Estudante F

“Como assim?” - Professor

“É que com a pandemia era só trabalhinho fácil de fazer e mesmo no retorno das aulas (presenciais) é sempre realizado atividades para ser escritas no caderno, gosto das coisas mais práticas. Poder fazer e entender sobre um instrumento musical com as próprias mãos é legal, tomará que fique bom e que no dia da apresentação os colegas achem o som da bateria bom.” - Estudante F

Houve mudanças de cronograma causadas pela mudança de horário das aulas, então cada equipe foi orientada a verificar novos prazos novamente.

5.2.4 Aula do dia 29/11/2021 (60 minutos)

Dada a característica de autonomia da ABP, cada grupo (figura 25) iniciou a aula trabalhando de acordo com seu próprio planejamento e com o acompanhamento escalonado do professor. Houve, portanto, momentos de orientação com cada equipe de forma direta, nos quais o professor conversou sobre

os conhecimentos que ainda eram necessários para a conclusão das tarefas pendentes, em especial destacando que no guia ilustrado deveria constar como a onda sonora é produzida no instrumento musical escolhido. Além disso, cada equipe deveria construir um mapa conceitual de acústica, nos moldes daquele feito com a turma toda no início dos trabalhos, para ser entregue na aula seguinte.

Figura 25 - Organização da turma.



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao longo das conversas entre professor e grupos, algumas falas merecem destaque. O aluno A, por exemplo, trouxe dados importantes como o comprimento da corda de 648 mm²⁶ e a sua tensão que deveria estar entre 120N e 240N, além de informar que havia trazido algumas cordas velhas de seu violão.. A partir destas informações, os alunos determinaram a frequência emitida pela corda conforme a Equação 15 $\left(f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}\right)$. Alguns dos cálculos realizados são apresentados nas Figuras 26 e 27.

“Eu troquei as cordas do meu violão hoje e trouxe algumas para construir o nosso (violão) caseiro, vi que teríamos de calcular a frequência emitida pela corda do violão, já vamos calcular com isso!” - Estudante A

²⁶ Os alunos consideraram que a corda iria ficar presa duas extremidades por uma distância de 600 mm no violão que estavam construindo.

Figura 26 – Equipe 2 calculando a densidade linear das cordas 1 e 6 do violão²⁷.

Estimando a frequência emitida pelas cordas 1 e 6

Tensão da corda de nylon entre 120N a 240 N.

$L = 648\text{mm} = 0,648\text{ m}$

Para a corda 6 de nove gramas:

$\mu = m/L = 0,009/0,648 = 0,014\text{ kg/m}$

Para a corda 1 de um grama:

$\mu = m/L = 0,001/0,648 = 0,00154\text{ kg/m}$

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27 – Cálculo para o primeiro harmônico das cordas 1 e 6 do violão.

Harmônicos para corda 6

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$T = 160\text{ N}$, $\mu = 0,014\text{ kg/m}$ e $L = 0,6\text{ m}$

Para $n=1$, $f_1 = \frac{1}{2 \cdot 0,6} \sqrt{\frac{160}{0,014}}$

$f_1 = 0,833 \cdot 106,9 = 89,1\text{ Hz}$

Devemos afrouxar a corda, pois a corda 6 corresponde a frequência de 82,4 Hz.

Harmônicos para corda 1

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot 0,6} \sqrt{\frac{160}{0,00154}} = 268,5\text{ Hz}$$

Devemos esticar mais a corda!

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao longo da aula todas as equipes fizeram a *webquest* intitulada como “criando uma canção” diretamente no celular de forma rápida (máximo de 5 minutos

²⁷ Houve a necessidade de digitalizar os manuscritos dos alunos a fim de evitar suas identificações por meio da caligrafia ou outros elementos constantes nas imagens.

usados para a tarefa), optando por focar nas discussões para construção do guia ilustrado até o fim da aula.

5.2.5 Aula do dia 02/12/2021 (50 minutos)

Considerando as orientações da ABP de Bender (2014), nesse dia ocorreram reuniões individuais do professor com cada uma das equipes para assessorar sobre a avaliação por pares através da rubrica, afinal essa é uma modalidade de avaliação pouco utilizada pelos estudantes. Nessas reuniões também foi determinada a ordem de apresentação com os líderes das equipes. Como resultado das conversas e orientações, cada grupo optou por diferentes ajustes em seus instrumentos.

Um ajuste importante para o xilofone de garrafas estava relacionado a afinação de seu instrumento. Então o grupo 3 calculou o comprimento do tubo pela equação (17), considerando a velocidade do som no ar de 344 m/s e as frequências correspondentes às notas musicais da escala (Figura 28).

Figura 28 - Comprimento do tubo sonoro fechado para emitir as notas Dó, Ré e Lá.

Xilofone de garrafa	
Tubo Sonoro fechado	
Dó → 130,81 Hz	$f n = \frac{v}{\lambda n}$ $n=1,3,5 \dots$
Ré → 146,83 Hz	
Mi → 164,81 Hz	
Fá → 174,61 Hz	
Sol → 196,00 Hz	$\lambda n = \frac{4L}{n}$ $n=1,3,5 \dots$
Lá → 220,00 Hz	
Si → 246,94 Hz	onde: L=>comprimento do tubo v=>velocidade do som λn =>comprimento de onda f n=>frequência de onda
Para a nota Lá com frequência de 220 Hz no primeiro harmônico n=1, velocidade do som 344m/s:	
$f_1 = \frac{v}{4L}$	$\rightarrow 220 = \frac{344}{4L} \rightarrow 4L \cdot 220 = 344$
$4L$	$4L$ $880L = 344$
	$L = 344/880 \approx 0,39$ metros
O comprimento do tubo deve ser 39 cm.	
$L = \frac{v}{4f}$	Dó → $L = \frac{344}{4 \cdot 130,81} \approx 0,66$ m (66 cm)
	Ré → $L = \frac{344}{4 \cdot 146,83} \approx 0,59$ m (59 cm)

Fonte: Elaborado pelo autor

Com esses dados em mãos, o grupo 3 foi até o laboratório de ciências para encher as garrafas e afinar conforme a escala (figura 29). No fim, a equipe optou por xilofone de garrafas com percussão através baquetas e não como instrumento de sopro devido ao covid-19 e com isso utilizaram um afinador eletrônico.

Figura 29 - Afinando o xilofone de garrafas.



Fonte: Elaborado pelo autor

O professor sugeriu que o violão deveria ter um braço de madeira, já que o braço de papelão (Figura 30) não aguentou a tensão da corda para afinação conforme a padrão. O grupo 2 gostou da ideia e se comprometeu em mudar o material do braço do violão, já que conhecem um parente marceneiro.

Figura 30 - Primeiro protótipo do violão.



Fonte: Elaborado pelo autor

O grupo 1, por sua vez, adicionou pesos na base de sua mini bateria para conseguir tocar e manter o equilíbrio do instrumento, finalizando o instrumento musical.

Todas as equipes estavam cientes que a publicação do projeto deveria ser feita na próxima aula, com a apresentação da versão final dos artefatos. As equipes estavam cumprindo as metas estabelecidas por elas e estavam dentro dos prazos.

5.2.6 Aula do dia 06/12/2021 (60 minutos)

Essa aula foi destinada a apresentação dos grupos aos colegas já que a pandemia da Covid-19 impediu uma apresentação mais ampla, bem como outras ações previstas inicialmente. Cada grupo apresentou seu instrumento construído por cerca de 10 minutos e, enquanto a apresentação ocorria, os demais colegas os avaliavam conforme os critérios indicados na rubrica.

O grupo 1 apresentou o conjunto de tambores e pratos (figura 31). Explicou que os instrumentos de percussão são usados para ritmo da música, sendo que a maior parte deles não é possível afinar. Mesmo assim, indicou que tambores maiores têm sons mais graves, sons mais baixos, já que faz o ar vibrar em uma frequência menor. Foram capazes de diferenciar som baixo como grave e que som fraco com intensidade pequena durante a apresentação.

“A membrana do tambor vibra na mesma frequência que a onda sonora que ouvimos, são as moléculas do ar oscilando!” - Estudante D

“Um som mais grave na bateria pode ser feito com o tambor maior (figura 32), o papel do bumbo, mas depois de construído, só podemos alterar um pouco a frequência emitida, tendo uma tampa flexível, quanto mais esticada a tampa mais agudo será o som” - Estudante F

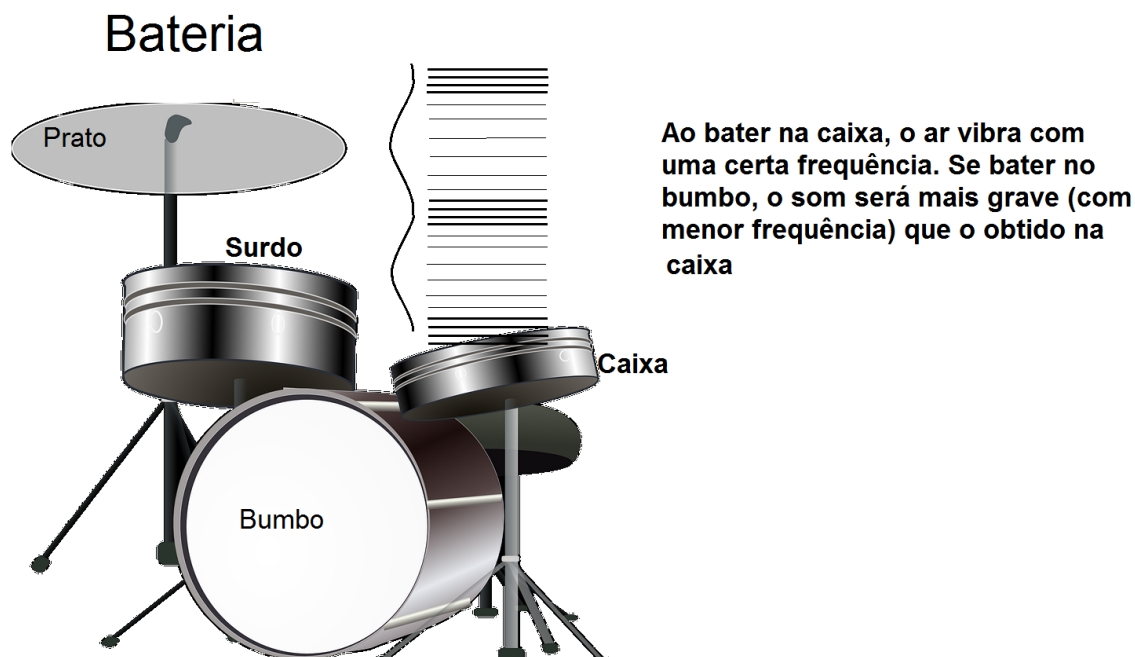
“Eu bato com força no pote e som fica bem forte, com intensidade grande, mas tivemos que colocar pesos nos potes, de alguma forma o som ficou mais fraco.” - Estudante G

Figura 31 - Versão final da mini bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor

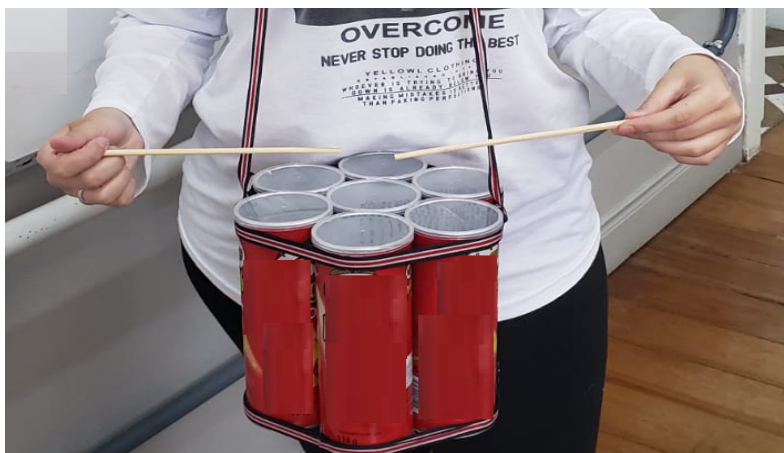
Figura 32 - Guia ilustrado da bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor

O grupo 4, que também trabalhou com um instrumento de rudimentos, apresentou um conjunto de tambores (figura 33), justificou que para um som mais grave era necessário de tambores maiores. Fez analogia com contrabaixo acústico, maior instrumento de corda em tamanho que pode atingir a frequência de 20 Hz (som baixo).

Figura 33 - Versão final dos tambores.

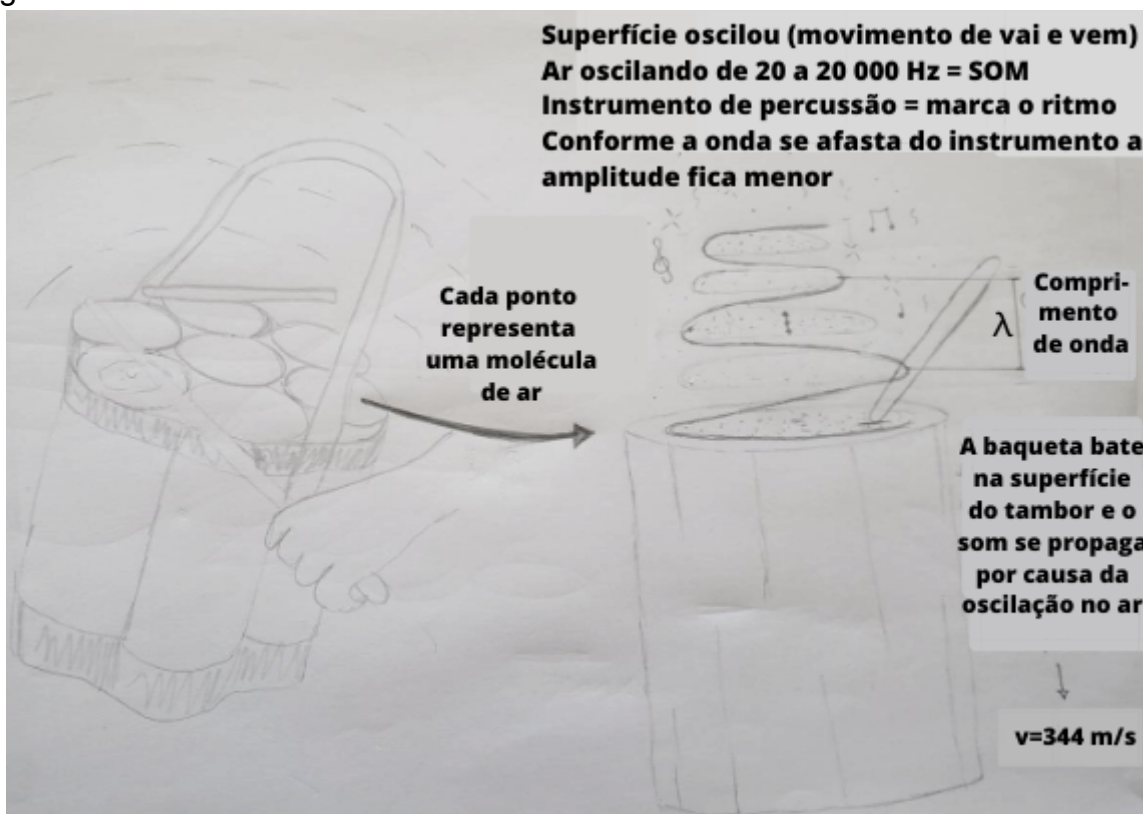


Fonte: Elaborado pelo autor

Apontaram que a frequência de vibração na membrana do tambor (figura 34) é transmitida para o ar e esta pode ser determinada através da equação 13. Quanto menor o comprimento de onda, maior será a frequência da onda sonora.

“Não é possível alterar a altura do som no nosso instrumento, há apenas uma frequência de 80Hz, ou seja, o som é relativamente grave e o cada molécula oscila 80 vezes a cada segundo”. - Estudante C

Figura 34 - Guia ilustrado dos tambores.



Fonte: Elaborado pelo autor

O grupo 4, por sua vez, teve problemas com o instrumento construído (figura 35) e acabou realizando a com um violão que um dos integrantes trouxe para o colégio. Pediram desculpas à turma e explicaram que o braço do violão que eles construíram não aguentava a tensão necessária da corda, sendo necessária a substituição por um braço de madeira, o que não havia sido realizado por falta de tempo.

Figura 35 - Versão final do violão caseiro.



Fonte: Elaborado pelo autor

O grupo 2 explicou que o violão afinado emite um som com frequência definida quando tocada em comprimento máximo da corda conforme o guia que criaram (figura 36). A frequência emitida pelo violão segue a equação 15. Escreveram essa equação no quadro e disseram que uma corda quanto mais frouxa, mais grave o som fica. Da mesma forma, uma corda maior densidade linear emite um som mais grave. Questionado pelo professor sobre esse fato, os alunos do grupo esclareceram que quanto maior a densidade linear da corda, menor será a frequência emitida.

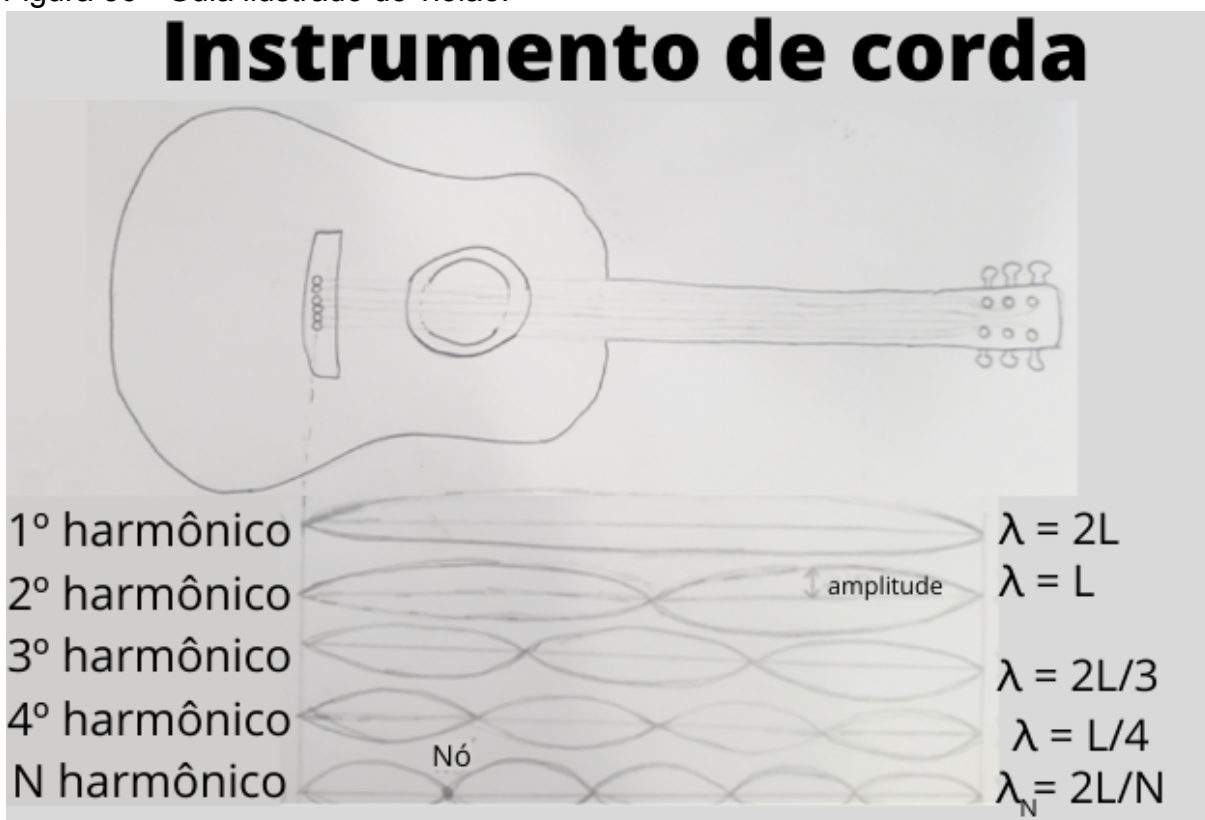
“Infelizmente não conseguimos mudar o braço do violão para um de madeira, a corda não ficou bem presa usando papelão, o som fica fraquinho. Mas nosso grupo trouxe um violão já pronto para esta apresentação.” - Estudante B

“Uma corda bem esticada oscila bem mais rápido, o som fica bem agudo [...] essa corda tem mais tensão, nesta fórmula (equação 10) podemos ver que o som fica com frequência mais alta, além disso uma corda mais fina também faz oscilar mais rápido, já que a densidade linear fica menor.” - Estudante A

“Mas o tipo de material não importa?” - Professor

“Profe, a corda de aço tem um material com densidade maior que a corda de nylon, assim a corda de aço emite frequência menor, o som fica mais grave.” - Estudante A

Figura 36 - Guia ilustrado do violão.



Fonte: Elaborado pelo autor

O grupo 3 iniciou apresentando uma pequena melodia com seu xilofone de garrafas (figura 37) e após descreveu o processo de afinação. Durante a

apresentação frequentemente confundiram os conceitos de som grave (de frequência mais baixa) e agudo (de frequência mais alta).

“O som fica grave ao assoprar na garrafa, quando colocamos na garrafa pouca água, a coluna de ar fica maior e a frequência fica menor, já que o comprimento de onda está maior.” - Estudante H.

“Nós optamos por bater na garrafa com baqueta, neste caso, a garrafa vazia tem o som mais agudo que as outras garrafas, eu acho, (aluna H bate nas garrafas e aquela mais vazia obteve o som mais agudo), estou nervosa, onda grave é a que tem frequência grande ou pequena, som grave é na garrafa mais cheia, onda é maior.”- Estudante G

“A conta que fizemos indica que ao soprar numa garrafa com muita água, o som vai ficar agudo.” - Estudante H

“Esta garrafa tem uma coluna de ar menor, ao soprar o som terá um menor comprimento de onda, logo será agudo.” - Estudante I

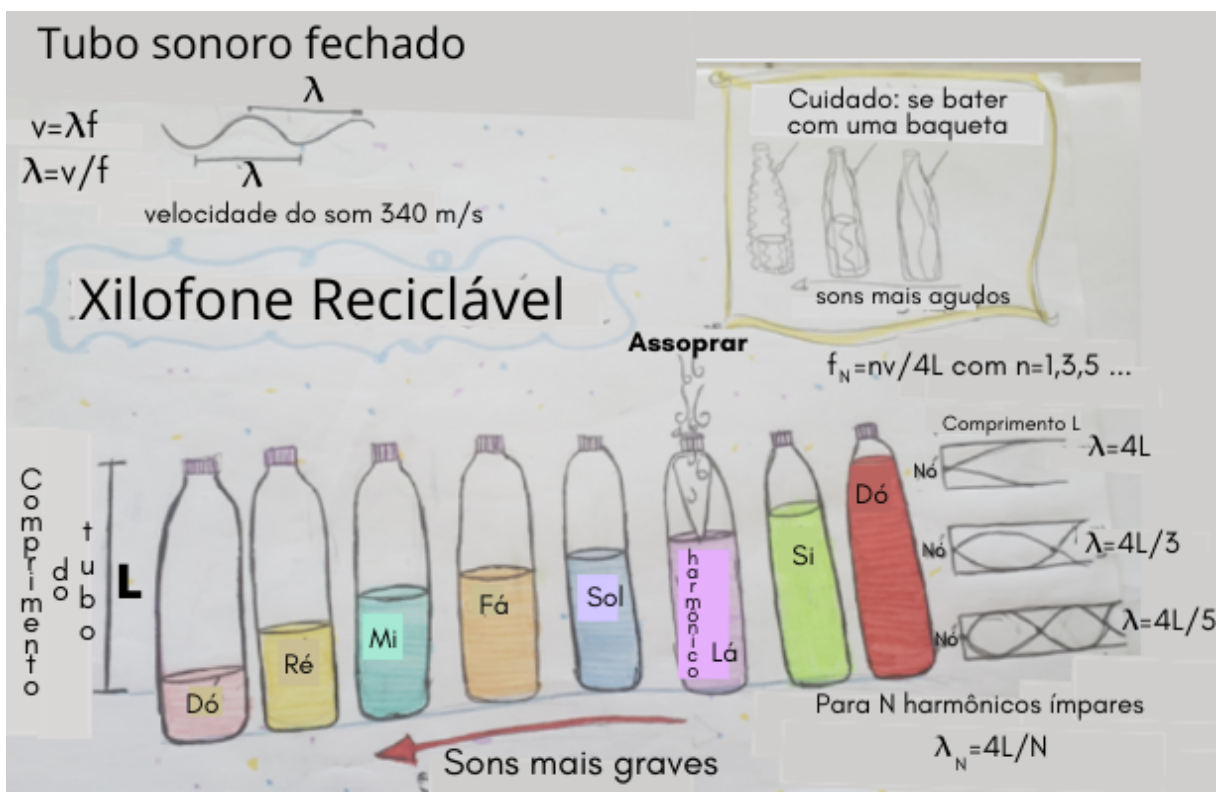
Figura 37 - Versão final do xilofone de garrafas.



Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de apresentar um guia completo (figura 38) sobre o instrumento musical que construíram, a equipe parecia confusa sobre como a onda sonora formava-se no interior do tubo, sendo necessário a intervenção do professor. A equipe 3 estava muito nervosa, o que prejudicou na apresentação.

Figura 38 - Guia ilustrado de xilofone de garrafas.



Fonte: Elaborado pelo autor

Após todas as apresentações, o professor dirigiu um novo *Brainstorming* com o objetivo de construir um novo mapa conceitual de Acústica, à semelhança do elaborado no início da proposta. Neste mapa os alunos consideraram dois conceitos chaves, a Acústica e a Música.

Os alunos já estavam familiarizados com a dinâmica do *Brainstorming* e elencaram várias ideias relacionadas à onda sonora e a música, separando inicialmente os termos de esquerda associando com apenas a música. O estudante J sugeriu a ligação entre “combinação de sons agradáveis de ouvir com ondas sonoras”.

“A música é uma combinação de sons e estes sons são ondas sonoras, por isso dá lugar” - Estudante H.

“[...]Música sem instrumento musical não existe e isto é relacionado com timbre da instrumento e da voz, eu acho que temos palavras demais, vai ser difícil de montar o mapa conceitual” - Estudante C.

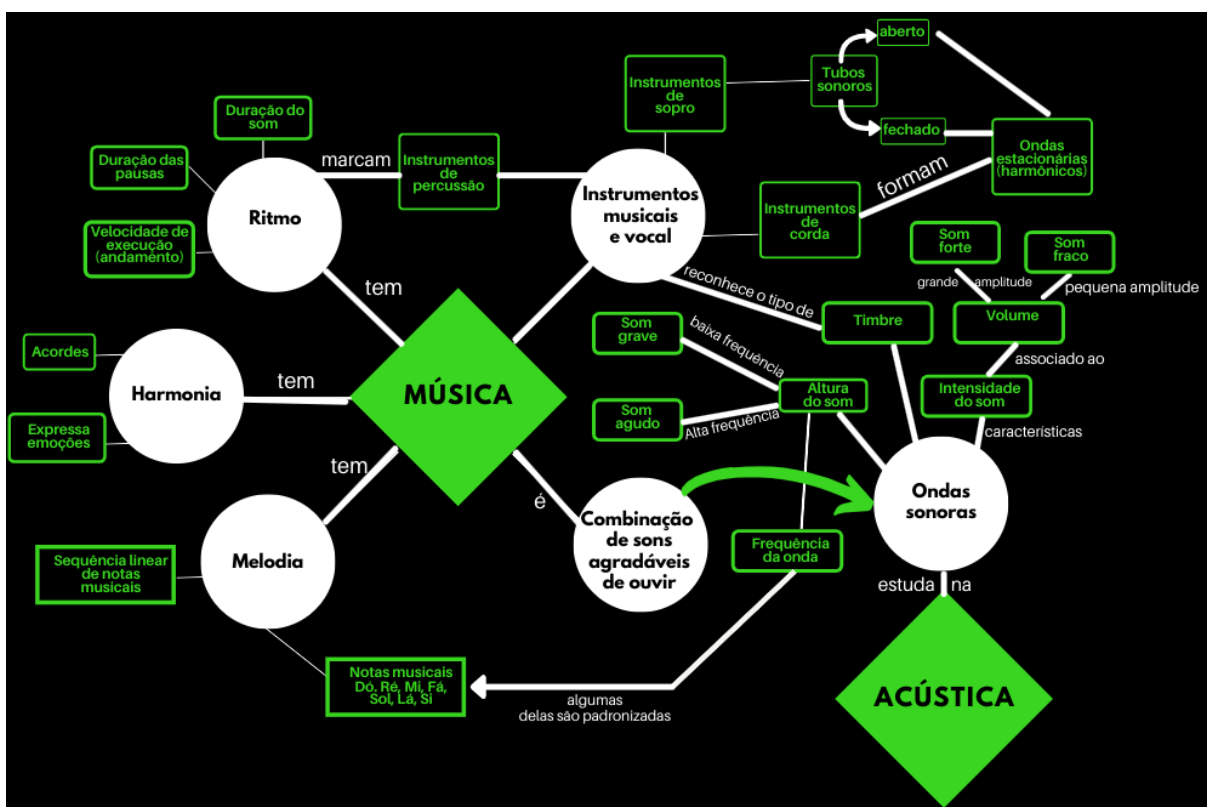
“Toda a ideia é bem-vinda, se vocês querem, é possível acrescentar mais, se precisar vocês descartam a ideia no final” - Professor

“No nosso instrumento tem harmônicos que estão nos instrumentos de corda, eu sei que são ondas estacionárias” - Estudante J.

“Altura do som liga com som grave e agudo, melhor separar isso” - Estudante D.

Os estudantes utilizaram o aplicativo Canva do celular para elaborar o mapa de forma colaborativa, onde cada caixa de texto podia ser acrescentada individualmente por cada participante. A figura 39 representa o desfecho da edição da turma.

Figura 39 – Mapa mental de acústica construído pela turma.



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do relato da aplicação do produto educacional, no próximo capítulo são apresentados os resultados discutidos e apresentados conforme o referencial teórico da TAS e da ABP.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo o foco é discutir acerca dos resultados da sequência didática à luz do referencial da TAS, à medida que procura indícios de constructos tais como engajamento, a evolução conceitual e a cooperação entre os estudantes para que as equipes conseguissem construir e apresentar os instrumentos musicais. É preciso citar ainda que a opção por não realizar essa discussão junto à descrição da implementação buscou ampliar o espaço de discussão e definir mais claramente a função de cada parte do texto.

Conforme VITTER (2013, p.44), o engajamento reflete um processo ativo com as tarefas propostas na busca de resolver problemas complexos, tradicionalmente mensurado através de aspectos quantitativos como frequência, tempo para realização de atividades e relacionado à habilidade de analisar, comparar e avaliar expondo suas próprias ideia. Nesse sentido, pareceu relevante avaliar os dados de tráfego na seção do *website* destinada aos estudantes (Quadro 6) na busca de indícios quantitativos de engajamento dos alunos por meio do número de acessos e do tempo médio da sessão no *website*.

Quadro 6 - Aspectos do tráfego da seção orientada para os alunos²⁸.



Fonte: Elaborado pelo autor

²⁸ Para mais informações, consulte o apêndice C.

Quanto à acessibilidade verifica-se que os 22 visitantes únicos²⁹ foram identificados como alunos da turma, totalizando 133 acessos diários durante todo o projeto (11.11.2021 a 06.12.2021). A principal forma de interação foi através de dispositivos móveis que ocorreu em 83% das vezes, com duração média de 10 minutos e 17 segundos por página.

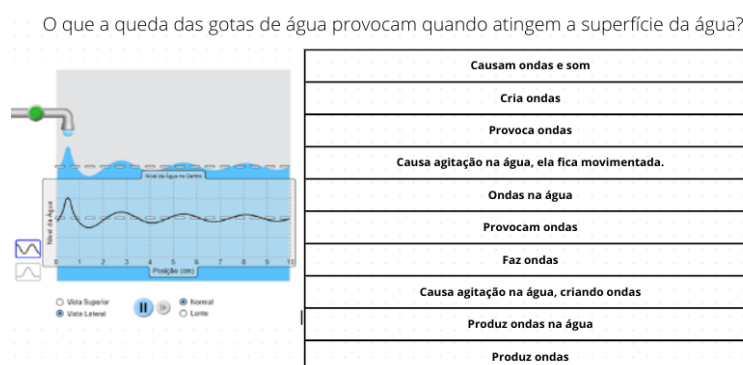
Esses dados indicam o quanto foi importante a construção do *website* compatível com dispositivos móveis e a disponibilização de acesso à internet pelo colégio para a efetiva participação das atividades propostas do projeto. Oitenta e quatro *logins* ocorreram no dia dos encontros presenciais, representando 63% do total.

O hábito de acessar a seção antes, durante e depois das aulas, identificado pelos metadados do *website*, indica interesse no conteúdo que contextualiza a investigação dos fenômenos de acústica para a construção de instrumentos musicais por cada equipe. A acessibilidade das diferentes seções do *website* através de dispositivos móveis assegurou a participação de todos alunos contribuindo com a interação e compartilhamento de ideias por cada uma das equipes. Além disso, fortaleceu a percepção de acerto ao construir o *website* de forma acessível a partir de dispositivos móveis permitindo que as equipes realizassem as atividades propostas diretamente pelo celular, onde as simulações rodavam diretamente pelo seu navegador.

O uso massivo de dispositivos móveis é reforçado ainda pelos dados estatísticos do *website* que apontam, por exemplo, que na *webquest* “Onda Sonoras I” (figura 40), apenas a equipe 4 utilizou um notebook para sua realização durante as aulas, enquanto os demais alunos utilizaram seus celulares para interagir com a simulação. Além disso, foi possível identificar acessos de mais de um membro de cada grupo, apontando tanto a possibilidade de interação individual com os recursos enquanto discutem o tema quanto a alternativa de divisão de tarefas como estratégia para agilizar o trabalho.

²⁹Dois alunos utilizaram dois emails diferentes para efetuar o login.

Figura 40 – A esquerda a simulação e a direita as respostas obtidas na *webquest*.



Fonte: Elaborado pelo autor

No que tange o desenvolvimento conceitual dos estudantes, diversos achados parecem apontar resultados positivos. A relação entre a frequência e o comprimento de onda, por exemplo, foi discutida no texto de apoio, mas a interação com a simulação disponível no *website* foi fundamental para a compreensão destes conceitos tão relevantes para a acústica.

“Este som agudo se repete bem rápido, tem várias cristas de onda!” - Aluno J

“A distância entre duas cristas (consecutivas) é (o) comprimento de onda, cada vez menor o comprimento de onda, maior fica sua frequência.” - Aluno K

“Só não vão esquecer que a nota uma oitava acima tem o dobro da frequência da nota base, por isso é mais aguda” - Estudante B

*“Mas aqui fala em relação ao comprimento de onda, pela simulação (da *webquest* ondas sonoras II) parece menor”* - Estudante J

“Vamos confirmar com o profe se é mesmo a metade do comprimento de onda quando a nota é uma oitava acima.” - Estudante B

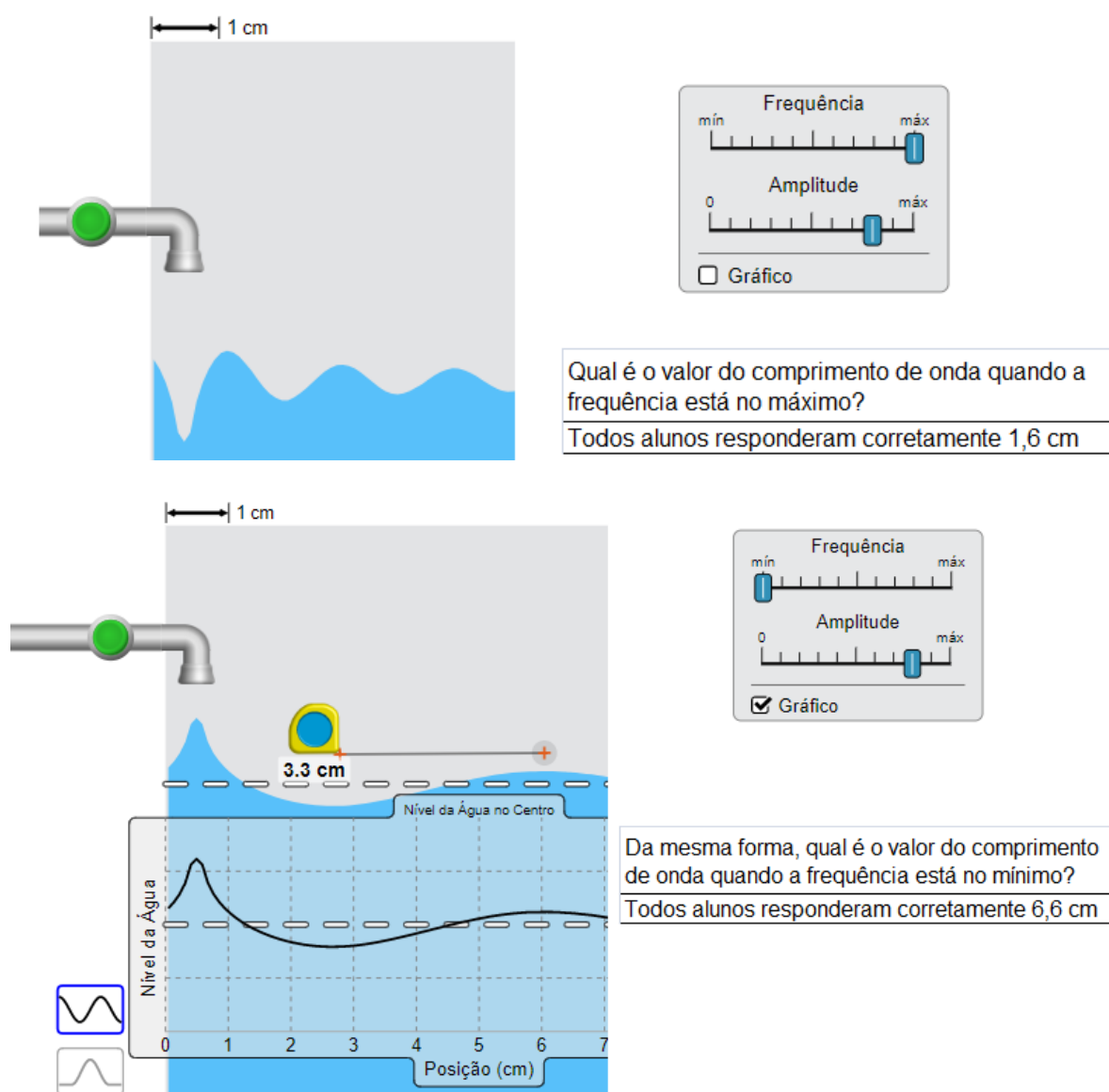
“Meu grupo respondeu que é a metade, (desta forma) quando dobra a frequência diminui para metade a distância do comprimento de onda. A cobrinha (referindo-se a onda) oscila mais rápido, a nota fica mais aguda e tem a fórmula velocidade igual a frequência vezes o comprimento de onda.” - Estudante N

“Então tá certo, a velocidade do som é de mais ou menos 340 m/s, dobrando o valor de um vai deixar a metade do valor do outro, valeu por ajudar. Estudante B

Foi possível constatar, por exemplo, que os alunos identificaram o que é e como medir o comprimento de uma onda (figura 41), bem como identificaram sua

relação inversamente proporcional com a frequência, capacidades fundamentais no estudo da acústica.

Figura 41 – A simulação indicava que quanto maior a frequência, menor era o comprimento de onda.

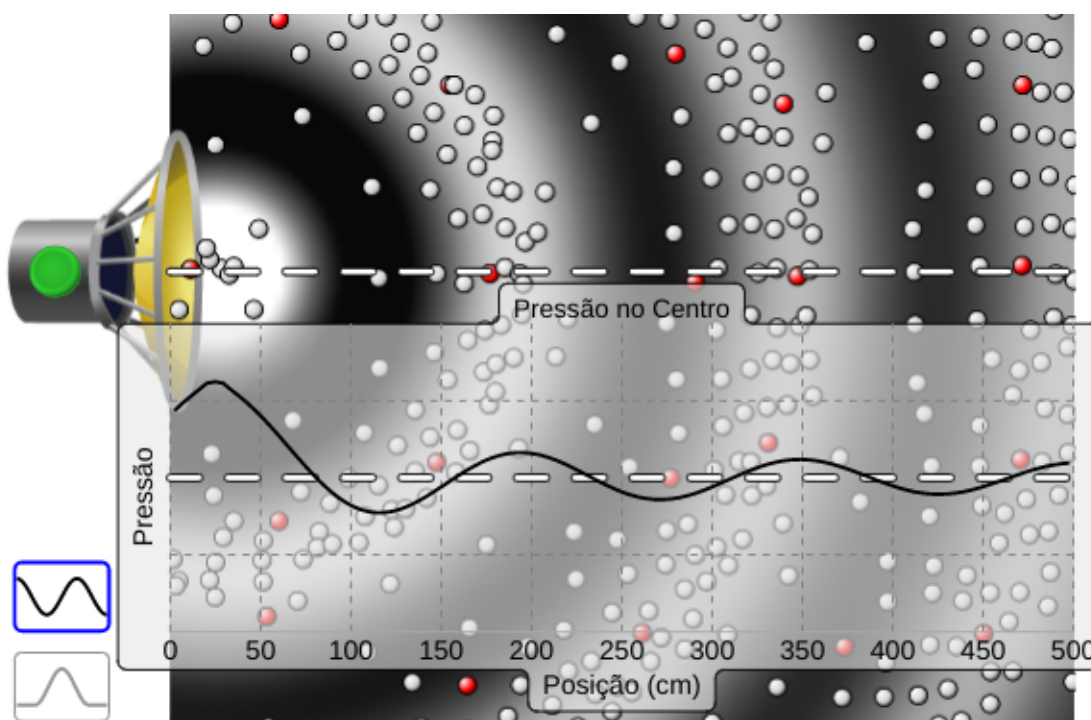


Fonte: Elaborado pelo autor

Outro resultado avaliado como positivo foi obtido por meio do uso da simulação “waves-intro” que permitia a transposição dos conceitos de comprimento de onda e frequência de ondas transversais para sua utilização em ondas longitudinais. Ao selecionar a aba som, a cor em cinza representa a pressão atmosférica constante, mas ao clicar no ‘botão verde’ no alto-falante, surge uma

área clara representando as regiões onde o ar fica comprimido associadas às cristas discutidas no formato transversal (figura 42). Nesse exercício de transposição didática, dezoito alunos responderam corretamente reparando que o cone do alto-falante empurra as moléculas de ar deixando a região mais clara (aumentando a pressão ou a densidade do local).

Figura 42 – A região clara representa o ar ficando comprimido.



Fonte: *print screen* da simulação *chrome experiments Sound-Waves*

“A estrutura está se mexendo, o ar fica comprimido quando isso (cone do alto-falante) fica para frente.” - Estudante F

“Dá para ver as partículas oscilando para frente e para trás, e elas estão mais juntas quando a região é branca.” - Estudante K

“Com período de 4 milissegundo, o comprimento de onda é de 150 cm. Isso dá uma velocidade de 375 m/s, professor” - Estudante A

“A conta que fez, não leva em consideração o erro no acionamento do relógio da simulação. Mesmo assim, achei impressionante que tenha calculado a velocidade do som na casa dos trezentos e poucos metros por segundos” - Professor

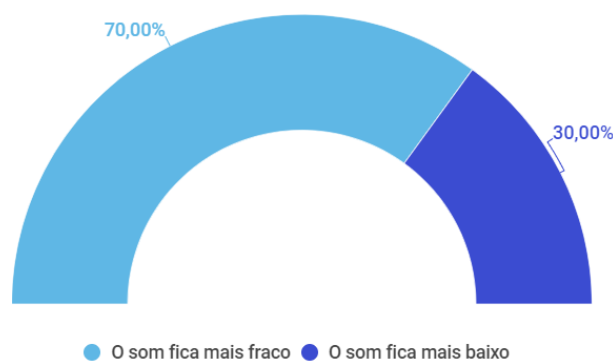
“É mesmo, usando o modo lento é difícil ter precisão. Queria ver porque não fechava próximo dos 340.” - Estudante A

“Legal a sua iniciativa, nesta simulação é difícil determinar o período da onda, repara que a partícula volta muito rápido. Tenta refazer se quiser melhorar a medida da velocidade do som” - professor

“Achei o período de 4,2 (ms), deu 1,5 dividido por 0,0042 igual a 357 m/s. A velocidade do som na simulação é próxima de 357 m/s” - Estudante A

Além do uso anterior, a referida simulação foi usada para discutir a associação entre o volume de um som e a amplitude da onda sonora. Ao selecionar a caixa 'Tom de reprodução', os alunos foram questionados sobre o que acontece com som ao diminuir a amplitude? Catorze alunos responderam corretamente, entretanto os termos de som baixo e som fraco são normalmente confundidos como indica a figura 43, apontando não só a forte influência do uso cotidiano desses termos como a necessidade de reforço do tema na linguagem científica.

Figura 43 – Dados do questionário.



Fonte: Elaborado pelo autor

“Que louco, eu consigo ouvir a 20 Hz, mas a partir dos 15 mil Hz fica impossível de ouvir. [...] isso dá 17 metros de comprimento de onda no (som) mais grave!” - Estudante L

“Você considerou a velocidade do som de 340 m/s, 20Hz vezes 17 metros igual a 340 m/s, teu cálculo tá perfeito.” - Professor

“É, deve ser porque você ouve muito música alta no fone de ouvido, já perdeu bastante audição.” - Estudante M

“Música alta? Seria com sons agudos que ele não consegue ouvir? Com altura do som de alta frequência?” - Professor

“Não, é com a intensidade sonora. O tal do som forte, relacionado ao volume, a intensidade de onda grande, tem que ouvir no volume recomendado e não mais. [...] li que pode dar até zumbidos permanentes, quando pode causar lesões devido a um maior deslocamento do tímpano causado pela oscilação da onda sonora” - Estudante M

A provocação do professor gerou uma resposta interessante do estudante M, de modo a indicar a diferenciação entre os conceitos som alto do som forte. Com isso, a flexibilidade da proposta bem como o protagonismo dos estudantes nela envolvidos foi identificado em diversos momentos. Um deles que pode ser usado para fins de exemplificação foi o adiantamento da atividade prática envolvendo a ampliação acústica do som obtido de um disco de vinil. No cronograma esta atividade tinha entrega prevista para a quarta aula, mas os alunos realizaram a atividade assincronamente entre a primeira e segunda aula demonstrando seu engajamento com a proposta e o potencial do uso do *website* no processo de aprendizagem dos discentes. Isso fez com que os estudantes voltassem sua atenção para a necessidade de ampliação do som dos instrumentos, indicando a demanda do adiantamento da mini lição envolvendo a experiência do disco de vinil para a segunda aula.

Há de se citar ainda a percepção de aprendizagem por parte dos discentes. A partir do preenchimento do quadro de gerenciamento interno das equipes³⁰, os próprios estudantes declararam (Quadro 7), o que aprenderam durante a pesquisa. Os dados sugerem que as equipes conseguiram relacionar o sons agudos como sons de alta frequência e identificaram características do instrumento que podem deixar o som mais agudo ou mais grave.

³⁰ Consulte o apêndice D para verificar como cada equipe registrou informações no quadro de gerenciamento interno das equipes

Quadro 7 – Respostas das equipes para “O que aprendemos durante as pesquisas?”

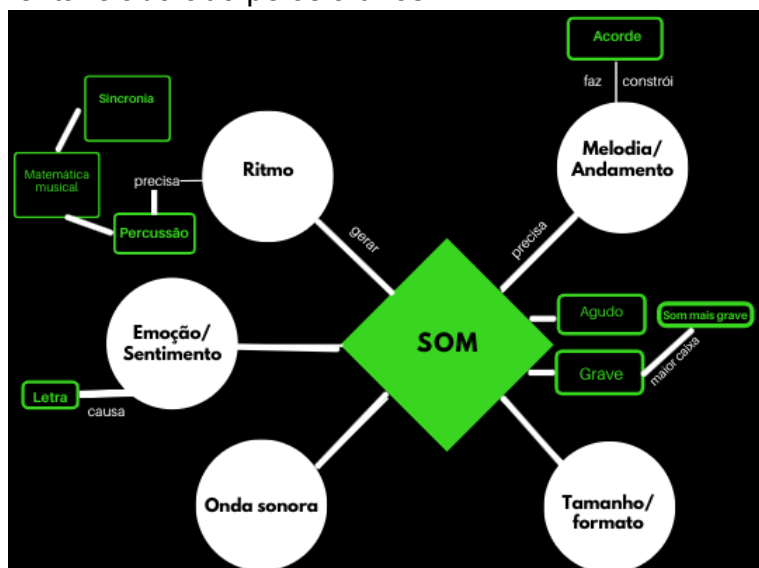
Equipe 1	<p>Que o som é uma onda sonora. Sons agudos têm frequência baixa (é um som alto) e sons graves têm frequência baixa (som baixo). A velocidade do som é de 340 m/s, assim a nota Lá com frequência de 220Hz tem comprimento de onda de $340:220= 1,55$ metros. Tubos grandes, cordas compridas e tambores maiores tem som mais grave!</p>
Equipe 2	<p>Eu sabia que uma corda mais tracionada deixa o som mais fino. Aprendemos que um som mais fino, é um som alto, bem agudo. Neste caso o som tem frequência bem alta.</p>
Equipe 3	<p>Alguns tipos de ondas sonoras e seus comprimentos de onda e frequência sonora. O som grave é aquele onde a frequência de onda é menor, sendo o comprimento de onda bem maior se comparado com sons mais agudos. Fizemos o cálculo e com 39 cm de coluna de ar, a garrafa ao soprar irá emitir uma nota Dó com frequência de 130,81 Hz e comprimento de onda de 2,63 metros. Um dó mais agudo (uma oitava acima) é aquele que tem o dobro da frequência, uma frequência de 261,62 Hz e comprimento de onda de 1,315 metros (metade do anterior de 2,63 metros).</p>
Equipe 4	<p>Durante o projeto, nossa equipe aprendeu que o som é uma onda sonora. Uma onda sonora é uma perturbação nas moléculas que oscilam em um ponto de equilíbrio. Se a frequência de vibração for alta, o som é alto e ouvimos agudo. Caso a frequência for baixa, o som é baixo.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor

A elaboração dos mapas mentais sobre a acústica evidenciam avanços na compreensão conceitual dos estudantes. O primeiro mapa mental construído apenas pelos alunos (figura 22³¹) sinaliza poucos desdobramentos do conceito geral do som em conceitos menos inclusivos e focados na melodia. Entretanto, os mapas mentais criados por cada equipe ao longo da proposta apontam mais ramificações que as encontradas no mapa mental inicial (figura 22), onde os principais conceitos apresentavam poucas conexões com conceitos físicos da acústica.

³¹ Embora já tenha sido apresentado anteriormente, a figura foi repetida aqui a fim de facilitar a comparação entre os mapas por parte do leitor.

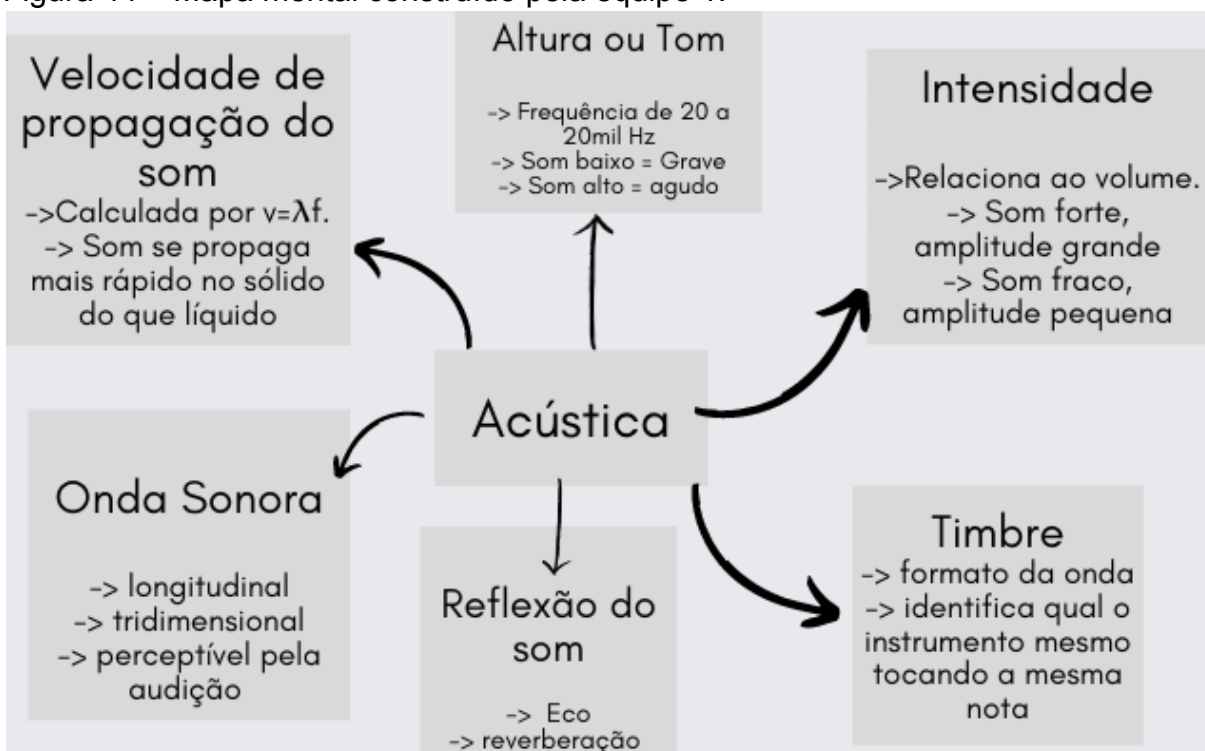
Figura 22 - Mapa mental elaborado pelos alunos.



Fonte: Elaborado pelo autor

A equipe 1, por exemplo, elaborou um mapa mental (figura 44) com a palavra central Acústica ligada diretamente a conceitos secundários de onda sonora, timbre, intensidade sonora, velocidade de propagação do som, reflexão do som, altura ou tom, apesar de ter um resumo de cada conceito não há relações ligações plausíveis entre conceitos secundários.

Figura 44 – Mapa mental construído pela equipe 1.



Fonte: Elaborado pelo autor

A equipe 2, por sua vez, colocou dois elementos centrais que para ela são sinônimos (som/ música) em seu mapa mental (Figura 45) ligando-os diretamente aos conceitos secundários de ondas sonoras e instrumentos musicais. Esta equipe conseguiu relacionar harmônicos em uma corda com o instrumento que construíram e externalizaram a ligação entre frequência e comprimento de onda com sons altos e sons baixos.

Figura 45 – Mapa mental construído pela equipe 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

A equipe 3 expressou como elemento central o conceito de acústica (figura 46) ligado diretamente aos conceitos secundários de ondas sonoras, velocidade, frequência e som. Apesar da difícil interpretação deste mapa mental como aparente desconexão com o segmento velocidade, há identificação dos conceitos de frequência de ondas sonoras com sons graves e agudos.

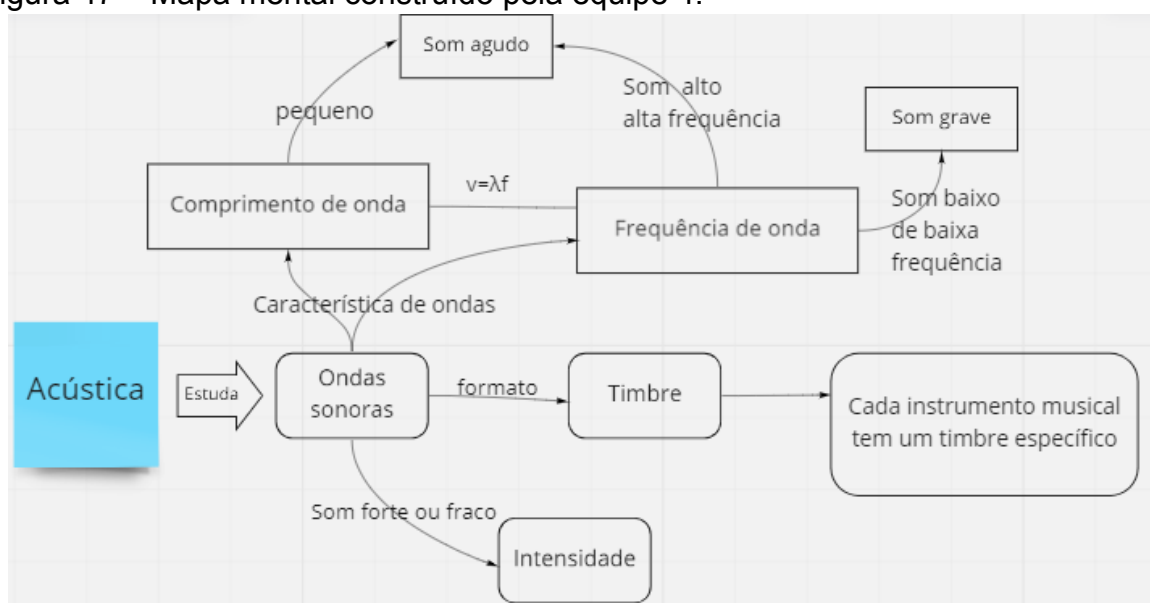
Figura 46 – Mapa mental construído pela equipe 3.



Fonte: Elaborado pelo autor

Já a equipe 4 começa o mapa mental (figura 47) pelo conceito Acústica indicado que estuda o conceito central de ondas sonoras. Aparecem as características fisiológicas do som ligadas ao conceito central, além de colocar os certa hierarquia sempre ligando com palavras em quase todas as conexões.

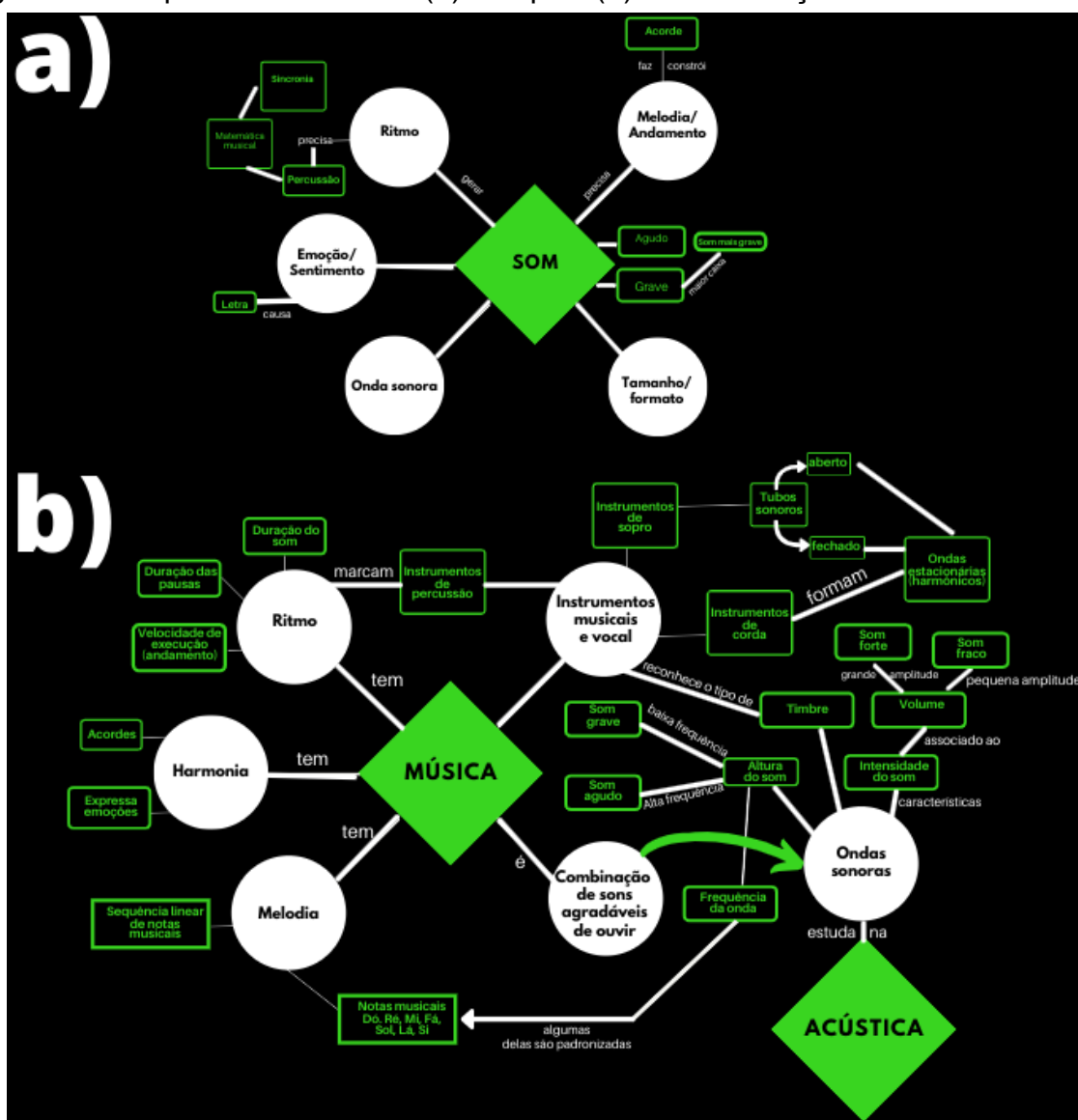
Figura 47 – Mapa mental construído pela equipe 4.



Fonte: Elaborado pelo autor

Finalmente, a comparação entre os mapas mentais construídos na primeira e na última aula (figura 48), construído com a colaboração de todos os alunos, aponta considerável evolução em relação ao conceito de ondas sonoras. Neste caso, vê-se clara ampliação das relações entre os conceitos de Acústica e a música e a conexão entre características das ondas sonoras e dos instrumentos musicais.

Figura 48 - Mapas mentais antes (a) e depois (b) da intervenção didática.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os discentes elencaram em seu último mapa mental todas as características fisiológicas do som de modo correlacionado às ondas sonoras, encadeando de forma crível a altura sonora com som alto ou baixo e a intensidade sonora com som forte ou fraco. Destas características fisiológicas, o timbre foi associado diretamente aos instrumentos musicais e vocais, mas durante a discussão não houve a menção sobre formato de onda sonora relacionado ao timbre.

Em concordância com Pelizzari *et al* (2002), entende-se que há no mapa mental b uma hierarquia que parte de dois conceitos abrangentes, música e acústica, para os mais específicos, onde as principais ideias do projeto aparecem como sugestões de termos peculiares. Destes, destacam-se as percepções de que harmônicos ocorrem naturalmente em instrumentos de corda e de sopro e a dificuldade de afinar um instrumento de percussão, sendo este usado para marcar o ritmo de uma música.

Ainda buscando identificar elementos que indiquem os resultados da proposta quanto à evolução conceitual dos estudantes, voltou-se o olhar para as rubricas de avaliação. A partir dos indicadores contidos nas rubricas, os alunos foram capazes de analisar as atividades desenvolvidas pelas demais equipes, através da avaliação por pares. Os principais comentários elaborados pelos próprios alunos estão no quadro 8, no qual nota-se o compartilhamento de ideias de acústica mesclando linguagem popular e científica.

Quadro 8 – Os principais comentários atribuídos aos grupos com auxílio das rubricas preenchidas pelos alunos durante as apresentações dos instrumentos musicais.

	Grupo 1 (Mini bateria)	Grupo 2 (Violão)
Caracterização do instrumento musical (30 pontos da pontuação)	Boa explicação, queria que aprofundassem mais na história do instrumento. Descreveu bem, mas não descreveu que a tampa faz o ar vibrar. Média: 25 pontos	O violão que eles construíram não funciona direito. Legal, a onda vibra na corda com a mesma frequência que escutamos. Média: 15 pontos
Afinação do instrumento (30 pontos da pontuação)	Não propôs formas de afinação. Apenas disseram que era necessário um tambor maior para deixar o som mais grave, mas não explicaram como. Média: 18 pontos	Muito bem afinado, mas não com o violão construído e sim com um de verdade. Disseram que o padrão para afinação é para corda seis de 83 Hz soando um mi e para corda um de 330 Hz um mi mais agudo quatro oitavas acima, achei bacana, pois dá pra notar a diferença. Os colegas sabem como afinar, mas faltou capricho para construir o violão, o papelão não aguentou a tensão das cordas. O som dessas cordas ficou fraco e muito grave. Média: 22 pontos

Impacto da apresentação (30 pontos da pontuação)	A ideia é incrível para reciclar materiais na escola. Achei que faltou mais embalagens para deixar o som mais forte, a melodia foi difícil de ouvir, teria que amplificar de alguma forma. O som da mini bateria ficou fraco demais, mas o som das palmas com a batida da classe ficou legal. Média: 20 pontos	O colega XX tocou um violão pronto e não aquele que construíram. A explicação sobre a afinação das cordas foi boa, ao tocar com no meio da corda o som fica mais agudo, achei legal que ele demonstrou isso. Média: 23 pontos
Eficiência geral (10 pontos da pontuação)	A bateria podia ser maior, para ser mais legal. Todas as meninas se apresentaram bem. Média: 9 pontos	Não foram todos que falaram. Não tocaram o violão do projeto, mas explicaram muito bem Média: 5 pontos

	Grupo 3 (Xilofone de garrafas)	Grupo 4 (Tambores)
Caracterização do instrumento musical (30 pontos da pontuação)	Muito bem organizado e afinado, identificaram as notas que cada garrafa emitia ao bater. Média: 16 pontos	Apresentaram super bem. Explicaram sobre ondas sonoras de forma certa. Média: 28 pontos
Afinação do instrumento (30 pontos da pontuação)	Mecânico, não explicaram sem ler. Se perderam na explicação e não explicaram sem ler. Parecia que apenas uma delas sabia do que estava falando, trocaram os conceitos de som grave e agudo. Média: 14 pontos	Mostraram como alteraram a frequência do som, sendo mais grave quando o tambor é maior ou a borracha do balão está mais frouxa. Comparou seu instrumento com um baixo e indicou que o som era grave. Média: 27 pontos
Impacto da apresentação (30 pontos da pontuação)	A melodia que tocaram ficou muito boa. Esse instrumento dá pra tocar música fácil Média: 24 pontos	Fácil de tocar e dar ritmo ao samba, gostei demais. Acho que precisa de mais instrumentos para apresentar num salão. Média: 24 pontos
Eficiência geral (10 pontos da pontuação)	Se atrapalharam muito na apresentação. Explicação confusa, o som grave é som baixo e elas trocaram com agudo que é alto. O professor teve que ajudá-las, não sabiam muito o que dizer sobre as características do som. Média: 6 pontos	Gostei, todos falaram na apresentação. Tocaram o instrumento tri bem. Média: 9 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível perceber que os alunos conseguiram identificar pontos fortes e fracos nas apresentações de todas as equipes e que tais percepções foram compartilhadas de modo gentil, educado e produtivo. As apresentações, por sua vez, contemplaram os principais aspectos trabalhados tais como o processo de afinação dos instrumentos, a relação entre as diferentes notas musicais e as respectivas grandezas físicas associadas, etc. Os alunos ouvintes de cada apresentação, por sua vez, estavam atentos aos conceitos centrais da proposta, tanto que chegaram a apontar as características relevantes que influenciam nos instrumentos e perceberam erros conceituais, em especial na apresentação da equipe 3.

O quadro 9 indica as soluções propostas pelas equipes para deixar o som do seu instrumento musical mais baixo e foi preenchido posteriormente na quarta aula.

Quadro 9 – Respostas dadas pelas equipes.

É possível deixar o som emitido do seu instrumento musical com uma menor frequência de onda sonora? Justifique.	
Equipe 1	Parece que o pandeiro com membrana mais esticada deixa o som mais agudo. Igual a corda do violão quando está mais esticada
Equipe 2	No violão, para deixar mais grave deixa a corda mais solta, mais agudo deixa a corda mais firme.
Equipe 3	Sim, garrafas mais cheias de água, quando sopramos o som fica mais agudinho.
Equipe 4	Sim, pois é um instrumento de percussão e quanto maior a caixa, mais grave o som fica.

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos resultados apresentados, foi possível perceber diferentes elementos de sucesso em relação aos objetivos estabelecidos para a utilização do produto educacional proposto (*website*). No entanto, as potencialidades deste trabalho não se limitam ao apresentado neste capítulo. Neste sentido, nas considerações finais (capítulo 7) será feito um resgate dos principais aspectos da dissertação. Este espaço será utilizado para fazer recomendações sobre o uso do material em outros contextos, indicar algumas dificuldades da aplicação do produto educacional e de aprendizagens na física que a sequência evidenciou apresentará algumas ideias para superar essas fragilidades e projetará possíveis desdobramentos da proposta.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional começou a ser elaborado no final de 2019 e o avanço da pandemia do covid-19 no Brasil em 2020 causou um clima de indefinição durante a fase da migração do ensino presencial para o ensino híbrido, obrigando o autor a reavaliar toda a pesquisa. Com a suspensão das aulas em abril de 2020, o autor teve que gravar aulas *online*, planejar atividades remotas para os alunos sem acesso à internet, participar de reuniões mais frequentes com os gestores da escola e colegas de profissão, entre outras tarefas adicionais. Cabe ressaltar que o produto inicialmente era destinado para alunos do nono ano do Ensino Fundamental, o que teve que ser modificado já que houve remanejamento de local de trabalho do autor que deixou de atuar na referida série.

Com isso, a sequência didática ficou pronta apenas em meados de 2021 com a organização da seção do *website* voltado aos estudantes, reunindo os recursos didáticos elaborados para investigação de fenômenos de acústica relacionados aos instrumentos musicais. O levantamento inicial indicou que a escola nova fornecia *internet* durante as aulas e que os alunos possuíam *smartphones*.

Perante essa situação, buscou-se que todos os recursos que necessitassem de internet fossem compatíveis com os dispositivos móveis diretamente pelo navegador. A preocupação indicada por Lopes, Pimenta (2017) com o mau uso do celular e distrações durante as aulas foi superada pela centralização das atividades na seção do *website* e o constante acompanhamento das equipes pelo professor.

Em relação à sequência didática, buscou-se a participação ativa e os questionamentos como medida de envolvimento, além de engajamento com a interação da hipermídia. Sem deixar de lado a Física por trás do instrumento musical construído pelas próprias equipes e baseando-se num ambiente de colaboração, foi possível verificar que “a curiosidade para aprender a tocar instrumentos musicais mostra que neste tipo de abordagem cria-se motivação e gosto pelo estudo de outros campos de conhecimento vizinhos ao do saber científico” (COELHO; MACHADO, 2015, p. 221).

Na busca de ressignificar a Física como meio de formação cidadã, os alunos puderam transformar materiais reutilizáveis em instrumentos musicais com vistas a utilizá-los em iniciativas de musicalização infantil para crianças de escolas públicas e até apresentar os artefatos construídos a professores dessa área. Infelizmente essa

etapa de aplicação prática dos instrumentos construídos junto à comunidade não foi possível em função das limitações impostas pela pandemia de COVID-19. Uma alternativa possível para situações em que não seja possível implementar ações de musicalização é a criação de um arquivo de áudio com a apresentação da versão final dos artefatos construídos para postar nas redes sociais da comunidade escolar.

A sequência didática, organizada a partir da ABP e da TAS levou em consideração o conhecimento prévio dos estudantes e atentou para sua evolução conceitual. As análises realizadas por meio dos dados coletados nas *webquests* e da construção de mapas mentais desenvolvidos pelos alunos durante a sequência didática apontaram uma representativa evolução conceitual uma vez que demonstram uma contínua ampliação das ligações entre conceitos bem como da correlação de conceitos físicos com elementos da música. O último mapa mental construído reforça essa percepção uma vez que aponta a assimilação de conceitos de ondulatória como frequência e comprimento de onda relacionando-os com as características fisiológicas do som e outros conceitos musicais.

Destaca-se que todos os mapas mentais foram elaborados através da técnica do *brainstorming*, na qual os estudantes, cada vez mais confiantes, conseguiram expor suas ideias. No último mapa mental, inclusive, havia um ambiente mais descontraído, no qual os participantes compartilharam saberes e estavam mais organizados ao escutar os demais e valorizando as sugestões dos colegas.

Analisando as argumentações dos alunos que surgiram durante a implementação do produto, percebe-se uma ampliação de termos científicos dos fenômenos de acústica. Houve também um aprofundamento matemático representado pela capacidade demonstrada por duas equipes que, ao desenvolver seus artefatos, foram capazes de reconhecer e descrever matematicamente as soluções para os problemas de afinação do violão e do xilofone de garrafas de forma autônoma através da pesquisa no *website*.

Dada a complexidade explorada pela ABP ao abordar problemas de um contexto real, os aspectos metodológicos como o protagonismo dos estudantes, a atuação do docente como orientador das equipes, bem como a novidade representada pelas etapas da ABP, geraram uma insegurança ao autor no início desta pesquisa. Na busca de superar este receio, no ano de 2019 foi elaborado um projeto piloto envolvendo o jogo de xadrez, cuja questão motriz foi “Como fazer iniciação do xadrez com crianças do segundo ano do Ensino Fundamental?”.

Nesse projeto, os alunos de oitavo ano do Ensino Fundamental se organizaram em equipes e idealizaram estratégias para elaborar e confeccionar artesanalmente um guia para os movimentos das peças de xadrez. Apesar de fugir do escopo desta pesquisa, o projeto de xadrez foi importante para facilitar ao professor (autor desta dissertação) a transição entre o ensino tradicional e a metodologia ativa. Permitiu ainda a melhor percepção de que as soluções de questões motrizes são buscadas por diversas fontes, de maneira criativa por cada equipe e que cabe ao docente fornecer fontes seguras e orientar para superar os desafios do projeto.

Quanto ao *website* desenvolvido, ficará à disposição de docentes interessados que poderão obter cópia e personalizá-lo conforme necessidade. Ele continuará passando por atualizações constantes para oferecer a melhor experiência ao professor e uma seção que oferece um ambiente acolhedor aos alunos pelo qual possam completar as tarefas propostas. A plataforma wix.com foi escolhida para hospedar a seção destinada aos alunos, por ser uma plataforma gratuita e que apresenta a função de transferir *website* a terceiros, de modo que o professor possa adaptar o projeto de acústica à sua realidade escolar.

O produto educacional tem potencial de ser ampliado como um projeto transdisciplinar, ao envolver a área de Linguagem e suas Tecnologias com a elaboração de materiais de divulgação e elaboração de apresentações artísticas dos instrumentos musicais construídos. Outras possíveis abordagens e adaptações são iniciação musical (principalmente para crianças e adolescentes), sustentabilidade e consciência ambiental.

O cancelamento dos eventos externos causados pela pandemia de COVID-19 causou certa frustração, uma vez que impôs que a aplicação do produto fosse limitada a uma turma e que a divulgação dos resultados obtidos se limitasse aos colegas e à seção do *website*. Mesmo assim, considera-se que a sequência didática proporcionou momentos de cooperação entre os alunos, participação em atividades presenciais e remotas devido ao interesse pelo tema de acústica e interação entre conhecimentos que os alunos já possuem do tema música e as novas informações proporcionando, além da evolução conceitual, oportunidades de desenvolvimento de capacidades ligadas ao trabalho colaborativo, a metacognição e à solução de problemas autênticos.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, R. V. **Implementação de metodologias ativas: Aprendizagem baseada em projetos em aulas de Física sobre acústica no Ensino Médio à luz dos Campos Conceituais**. Tramandaí: UFRGS, 2019.
- AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Psicologia educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARROS, J. A. et al. Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 63-69, 2004.
- BASSO, Ilda. **Formação continuada de professores: Competências e uso da linguagem digital**. 2009.241f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, 2009.
- Bender, W. N.. **Aprendizagem Baseada em Projetos: educação diferenciada para o século XXI**. Porto Alegre: PENSO, 2014.
- BLEICHER, L. et. al. Análise e Simulação de Ondas Sonoras Assistidas por Computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, junho, 2002.
- CALDAS, G. G. **Atividades experimentais de Acústica para o ensino de Física: Uma Proposta na Inclusão de Surdos**. Belém: UFPA, 2017.
- CARVALHO, R. M. **Acústica e Cidadania: Uma abordagem CTS para o Ensino Fundamental**. Juazeiro: UNIVASF, 2016.
- CATELLI, F.; MUSSATO, G. A. As frequências naturais de uma corda a partir parâmetros geométricos e físicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, p. 6, 2014.
- COELHO, S. M.; MACHADO, G. R. Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 207, 2015.
- COELHO, A. L. M. B. **Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória**. Brasília: UnB, 2016.
- EZEQUIEL, L. F. C. **Análise de perfil conceitual em ciclos de modelagem: Um estudo sobre o ensino do Efeito Doppler**. Lavras: UFLA, 2016.
- FRANCA, George. Os ambientes de aprendizagem na época da hipermídia e da Educação a Distância. *Perspect. ciênc. inf.*, Belo Horizonte , v. 14, n. 1, p. 55-65, 2009.

FREITAS, P. H. **Tubo de Diretividade Sonora (TDS): Confecção de um modelo experimental para o estudo da Acústica**. Araranguá: UFSC, 2019.

GOMES, A. P. et al. Ensino de ciências: dialogando com David Ausubel. **Ciências & Ideias**, v. 1, n. 1, p. 23–31, 2010.

GOTO, Mario. Física e música em consonância. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 31, n. 2, p. 2307.1-2307.8, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000200008>>

GUEDES, A. G. Estudo de ondas estacionárias em uma corda com a utilização de um aplicativo gratuito para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK, J.W.. **Fundamentos da Física**. 10.ed. São Paulo: LTC, v. 2, 2016.

HERNÁNDEZ, F.; VENTURA, M. **A Organização do Currículo por Projetos de Trabalho: O conhecimento é um caleidoscópio**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 1998.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. São Paulo: Editora Bookman, 12ª edição, 2015.

KOISHI, Henry U. et al. Variação da intensidade vocal: estudo da vibração das pregas vocais em seres humanos com videoquimografia. *Rev. Bras. Otorrinolaringologia*, v. 69, n. 4, p. 464-470, 2003.

LARMER, J.; MERGENDOLLER, J.; BOSS, S. Setting the standard for project based learning: a proven approach to rigorous classroom instruction. Alexandria: ASCD, 2015.

LERIAS, W. R. **A Física da Música e a pluralidade didática**. Campo Mourão: UTFPR, 2016.

LOPES, P. A.; PIMENTA, C. C. C. O uso do celular em sala de aula como ferramenta pedagógica: Benefícios e desafios. **Revista Cadernos de Estudos e Pesquisa na Educação Básica**. Recife, v. 3, n. 1, p. 52-66, 2017.

LUNDIN, Mark. **Sound Waves**. Disponível em: <https://musiclab.chromeexperiments.com/Sound-Waves>. Acesso em: 08.07.2019

MARKHAM, T.; LARMER, J.; RAVITZ, J. Aprendizagem baseada em Projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio. 2a ed. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

MARTINS, R. L. C; VERDEAUX, M. F. da S; SOUZA, C. M. S. G de.. A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, 2009.

MAZETI, L. J. B. **Sequência Didática: Uma alternativa para o ensino de acústica no Ensino Médio**. Sorocaba: UFSCar, 2017.

Mazur, E. **Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa**. Porto Alegre: Penso, 2015.

MICHAELSEN, L. K.; KNIGHT, A. B.; FINK, L. D. **Team-Based Learning: A transformative use of small groups in College Teaching**. Sterling: Stylus, 2004.

MOREIRA, Marco A. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MOREIRA, Marco; NARDI, Roberto. O mestrado profissional na área de ensino de Ciências e Matemática: alguns esclarecimentos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 3, p. 1-9, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/134425>> Acesso em: nov/2020

MOREIRA, MARCO ANTONIO. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados** [online]. v. 32, n. 94, pp. 73-80, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>>.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Revista cultural La Laguna Espanha**, 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>>. Acesso em: nov/2020.

MÜLLER, M. G. Adoção e difusão de inovações didáticas em disciplinas de Física Geral: estudos de caso em duas universidades públicas brasileiras. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

NASCIMENTO, F. do; FERNANDES, H. L.; MENDONÇA, V. M. de. O ensino de ciências no Brasil: história, formação de professores e desafios atuais. **Revista HISTEDBR On-line**, Campinas, SP, v. 10, n. 39, p. 225–249, 2012. DOI: 10.20396/rho.v10i39.8639728. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/histedbr/article/view/8639728>. Acesso em: 1 set. 2021.

NETTO, A.C. et al. **A educação para um mundo Exponencial**. Belo Horizonte, 2020. E-book Kindle

NOVAK, G.; GAVRIN, A.; CHRISTIAN, W.; PATTERSON, E. **Just-in-time teaching: blending active learning with web technology**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de Física básica 2: Flúidos, oscilações e ondas, calor**. São Paulo: Blucher, v.4, 2002.

OLIVEIRA, Tobias Espinosa de; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 3, p.962-986, dez. 2016.

PASQUALETTO, T. I.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino de Física : uma Revisão da Literatura Project-Based Learning in Physics Education : a Literature Review. v. 17, n. 2, p. 551–577, 2017.

PASQUALETTO, T. I. **O ensino de Física via aprendizagem baseada em projetos: um estudo à luz da teoria antropológica do didático**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

PELLIZZARI, Adriana, et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Revista PEC**. v.2, n.1, p.37-42, 2002.

PONTE, J.P. Educação matemática: Temas de investigação (pp. 185-239). Lisboa: Instituto de Inovação Educacional, 1992.

PONTES NETO, José A. da S. **Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas**. In: Dossiê do I Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa. Série Estudos, UCDB, n. 21, p. 117-130, jun/2006. Campo Grande-MS.

PRADO, G. **Metodologias ativas no ensino de ciências: um estudo das relações sociais e psicológicas que influenciam a aprendizagem**. Tese (Doutorado) - de Pós- Graduação em Educação para a Ciência, da área de concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP/Bauru, 2019.

OSCILAÇÃO. In: MICHAELIS, Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Editora Melhoramentos Ltda, 2021. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/busca?id=4b4q2>. Acesso em: 10/02/2021.

ROCHA, Viviane Cristina da; BOGGIO, Paulo Sérgio. **A música por uma óptica neurocientífica**. Per musi, Belo Horizonte, n. 27, p. 132-140, June 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-75992013000100012&lng=en&nrm=iso. Acesso em: Jan 2021.

RODRIGUES, E. V. **Atividades para o aprendizado de Acústica**. Vitória: UFES, 2016.

SANCHES, Isabel. **Compreender, agir, mudar, incluir**. Da investigação-acção à educação inclusiva. Revista Lusófona da Educação: Lisboa, n. 5, p. 127-142, 2005.

SANTOS, J. R. **Aprendizagem Ativa: uma proposta para o ensino de Luz e Som.** São Cristóvão: UFS, 2016.

SEGURA, E.; KALHIL, J. B. A METODOLOGIA ATIVA COMO PROPOSTA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 87-98, 2015. DOI: 10.26571/2318-6674.a2015.v3.n1.p87-98.i5308. Disponível em: <https://dev.setec.ufmt.br/ojs3x/index.php/reamec/article/view/5308>. Acesso em: 1 set. 2021.

SILVA, W. G. da. **Limites e Possibilidades do uso da Webquest no Ensino de Física.** 2015. 89f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Ensino de Ciências Exatas, Universidade Federal de São Carlos, 2015.

SOARES-LEITE, W. S.; NASCIMENTO-RIBEIRO, Carlos Augusto. A inclusão das TICs na educação brasileira: problemas e desafios. **MAGIS Revista Internacional de Investigación en Educación**, 5 (10), p.173-187, 2012.

SOUZA, S. C. DE; DOURADO, L. **Aprendizagem Baseada Em Problemas (Abp): Um Método De Aprendizagem Inovador Para O Ensino Educativo.** Holos, v. 5, p. 182, 2015.

STINGLIN, D. DA C. **Relações entre a percepção musical e o ensino das características das ondas sonoras.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

THOMAS, J. W. A Review of Research on Project-Based Learning. **The Autodesk Foundation**, p. 1–45, 2000.

TOLOMEI, B. V. A Gamificação como Estratégia de Engajamento e Motivação na Educação. **EaD em Foco**, v. 7, n. 2, 6 set. 2017.

VITER, L. N. **Interação e engajamento em ambiente virtual de aprendizagem: um estudo de caso.** 2013. Dissertação (Mestrado em Linguística Aplicada) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

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

APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Adrian Luiz Rizzo

**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA
PROPOSTA DE WEBSITE COMO RECURSO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVO NO ESTUDO DE ACÚSTICA**

Prof. Dr. Terrimar Ignácio Pasqualetto
Orientador

Prof^ª. Dra. Karen Cavalcanti Tauceda
Coorientadora

Tramandaí
Setembro de 2022.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO AO DOCENTE	113
2 WEBSITE	114
3 ORIENTAÇÕES E PLANEJAMENTO PARA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	127
3.1 Etapa: Apresentar o projeto	128
3.2 Etapa: Planejar o projeto em equipes	129
3.3 Etapa: Desenvolver a pesquisa inicial	131
3.4 Etapa: Criar, desenvolver a apresentação e os artefatos	133
3.4.1 Webquest Ondas sonoras I	134
3.4.2 Webquest Ondas sonoras II	137
3.5 Etapa: Desenvolver a segunda etapa da pesquisa.	139
3.5.1 Webquest criando uma canção	139
3.5.2 Webquest Ondas sonoras III	141
3.6 Etapa: Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos.	142
3.6.1 Webquest harmônicos em uma corda	143
3.6.2 Webquest formato de onda	147
3.6.3 Webquest afinação dos instrumentos	148
3.7 Etapa: Avaliar e publicar o projeto	154
3.7.1 Recursos adicionais externos	155
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	156
REFERÊNCIAS	158

1 APRESENTAÇÃO AO DOCENTE

Caro colega,

O produto a seguir é um conjunto de recursos de hipermídia reunidos em um *website*³² voltado aos docentes, incentivando e subsidiando uma primeira experiência com a Aprendizagem Baseada em Projeto ABP no contexto do Ensino de Física. A partir disso, há uma seção do *website* designada aos alunos que proporciona um ambiente exploratório acessível para o projeto de ensino de Acústica descrito nesta sequência didática. O *website* é constituído por hipermídias compatíveis com dispositivos móveis na versão Android 4.4 e tem como objetivo apresentar as principais ideias sobre ABP (Bender, 2014) e como planejar um projeto compatível com a Teoria da Aprendizagem significativa (TAS).

Apoiado no *website* desenvolvido como produto educacional, foi estabelecido uma sequência didática sugestiva para sua implementação. Para tanto, tomou-se como base as oito etapas da ABP de Bender (2014) propostas por Pasqualetto (2018). Essas etapas, adaptadas e adequadas à fundamentação teórica de TAS e ao ensino híbrido uma vez que contempla atividades presenciais e remotas, com possibilidade de atividades síncronas e assíncronas.

O capítulo 2 exhibe o conteúdo do *website*, enquanto que as orientações e planejamento para sequência didática prevendo atividades síncronas e assíncronas, com questões-problema para que os alunos investiguem os fenômenos de acústica e construam instrumentos musicais estão no capítulo 3. Já o capítulo 4 é reservado para as considerações finais que foram observadas durante a elaboração do produto educacional como material potencialmente significativo, bem como sugestões para elaboração de projetos.

³² Disponível em: <https://sites.google.com/view/aprendizagembaseadaemprojeto>

2 WEBSITE

Como indica Franca (2009), uma hipermídia pode ser definida como um “mix” de linguagens, uma combinação de textos, sons, imagens, vídeos, um ciberespaço em constante evolução, um suporte através do qual há interatividade entre os usuários e produtor de conteúdo. Assim o *website* a seguir (figuras 1 ao 5) pode ser classificado como hipermídia, em vista que cria um ambiente de interação entre professor e alunos através dos textos, das imagens (animadas ou não), dos áudio e dos vídeos.

Figura 1 - Página inicial do *website*³³ discutindo o que é ABP:

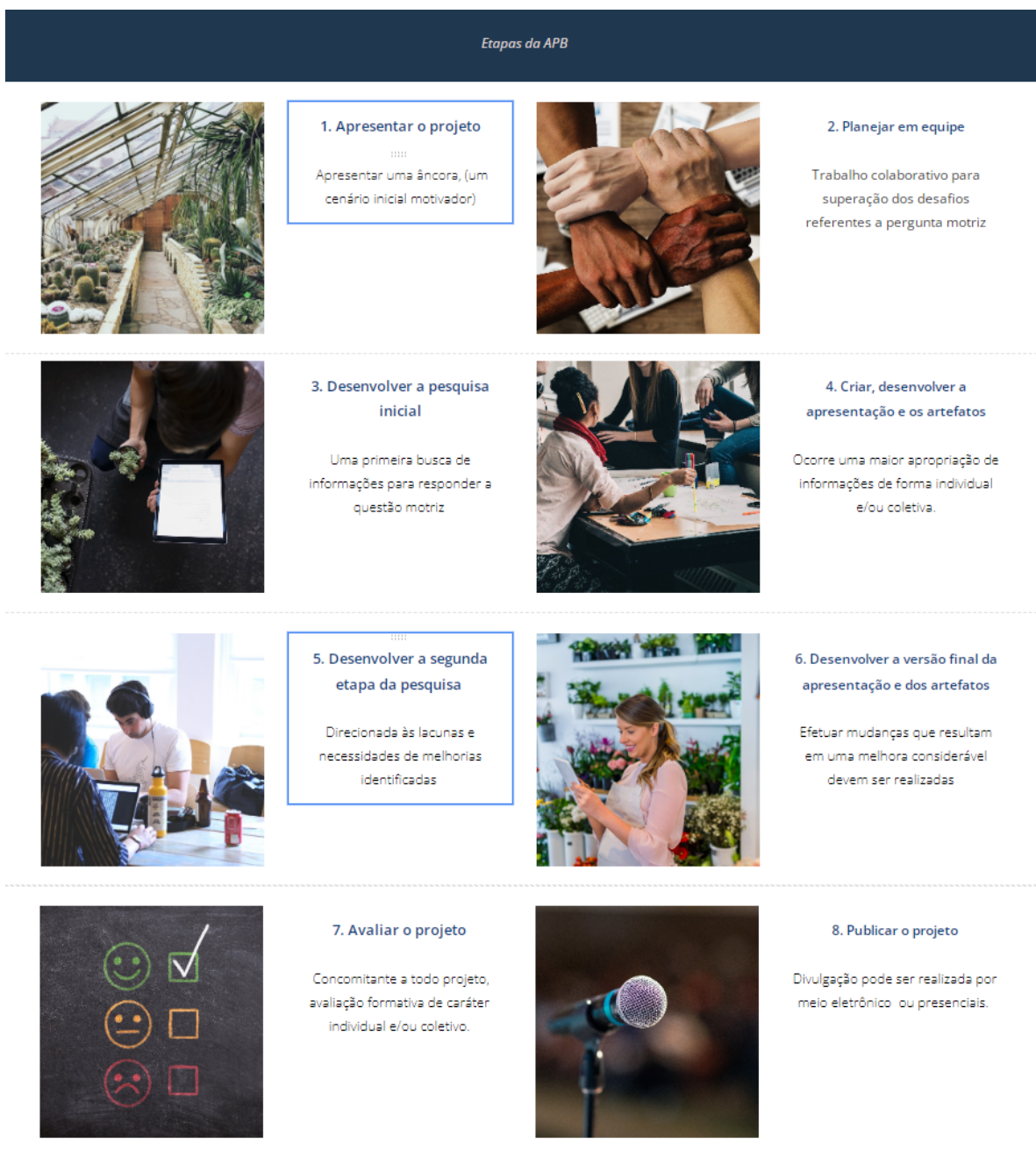


Recomenda tarefas de aprendizagem que relacionam a outros conceitos mais amplos, bem estabelecidos e diferenciados já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo chamados de “Subsunçores”. De fato, o aluno precisa mobilizar ideias que já conhece para conectá-las ao novo conceito.

Fonte: Elaborado pelo autor

³³ Para melhor visualização acesse: <https://sites.google.com/view/aprendizagembaseadaemprojeto>

Figura 2 - Etapas da ABP



Dúvidas?

adrian-lrizzo@educar.rs.gov.br

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3 - ABP de Acústica

☰ ABP
🔍

ABP de acústica

Situação atual



Esta seção do website é um guia para investigação de assuntos relacionados a acústica para alunos do Ensino Médio as webquests e galeria com fotos e vídeos dos artefatos construídos para despertar o interesse na Física e auxiliar na apropriação de conceitos trabalhados em sala de aula.

Postura do professor perante a ABP



O professor assume o papel de ajudar na orientação de procedimentos de cada grupo, ao ouvir as angústias e as expectativas dos alunos a fim de criar situações de aprendizagem e estabelecer relações entre os conceitos e o plano de ação.

🕒

Seção voltada ao aluno para iniciar a investigação de acústica

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4: Como fazer o seu projeto voltado à TAS

☰
ABP

Como fazer o seu projeto voltado a TAS

Como discutido, a ABP envolve as oito etapas expostas previamente na página inicial. Mas como isso se encaixa na Teoria da Aprendizagem Significativa?



Ao promover a aprendizagem colaborativa, haverá debate e comparação de pontos de vista divergentes; a interação de ideias já existentes ("subsunçores") com os novos conceitos torna a ABP uma metodologia que vincula o ensino a atividades ativas e responsáveis.

Recursos adicionais que você pode usar em seu projeto

Minilições

São lições curtas com possibilidade de realizar um experimento que apresenta informações relevantes do projeto. Explore as duas minilições de acústica para se inspirar.





Webquest

Traduzindo literalmente para demanda de internet, estabelecendo atividades com interação com fontes confiáveis.

Site abaixo é uma versão para os alunos que serviu como guia durante a investigação, e também para divulgar os artefatos criados na ABP de acústica. Nele você pode acessar as webquests criadas e fotos dos instrumentos musicais criados em novembro de 2021.

ABP DE ACÚSTICA (versão voltada para guiar a investigação dos alunos)

Figura 5: Créditos da criação do material.

ABP

Página inicial
ABP de acústica
Como fazer a seu projeto
Créditos

Créditos

Recursos de mídia eletrônica que faz parte do produto educacional que utiliza tecnologias de informação e comunicação TICs.

Autor: Adrian Luiz Rizzo

Formado em Licenciatura em Física e em Matemática pelo Instituto Federal de Rio Grande do Sul (IFRS-BG) e cursando o Mestrado Profissional em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (MNPEF-UFRGS/CLN).

Orientador: Prof. Dr. Terrimar Ignácio Pasqualetto

Coorientadora: Prof. Drª. Karen Cavalcanti Tauceda

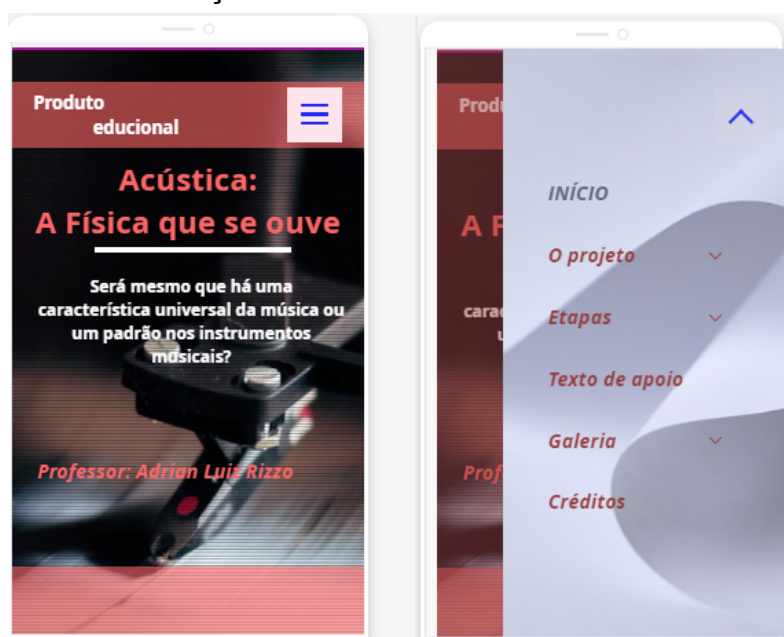
SAIBA MAIS SOBRE O CURSO MNPEF-UFRGS/CLN.

ABP DE ACÚSTICA (versão voltada para guiar a investigação dos alunos)

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao explorar o *site*, você poderá visualizar a seção³⁴ voltada aos alunos que proporcionou um ambiente exploratório acessível para o projeto de acústica (figuras 6 a 8).

Figura 6: Página inicial da seção visualizada através de celular



Fonte: Elaborado pelo autor

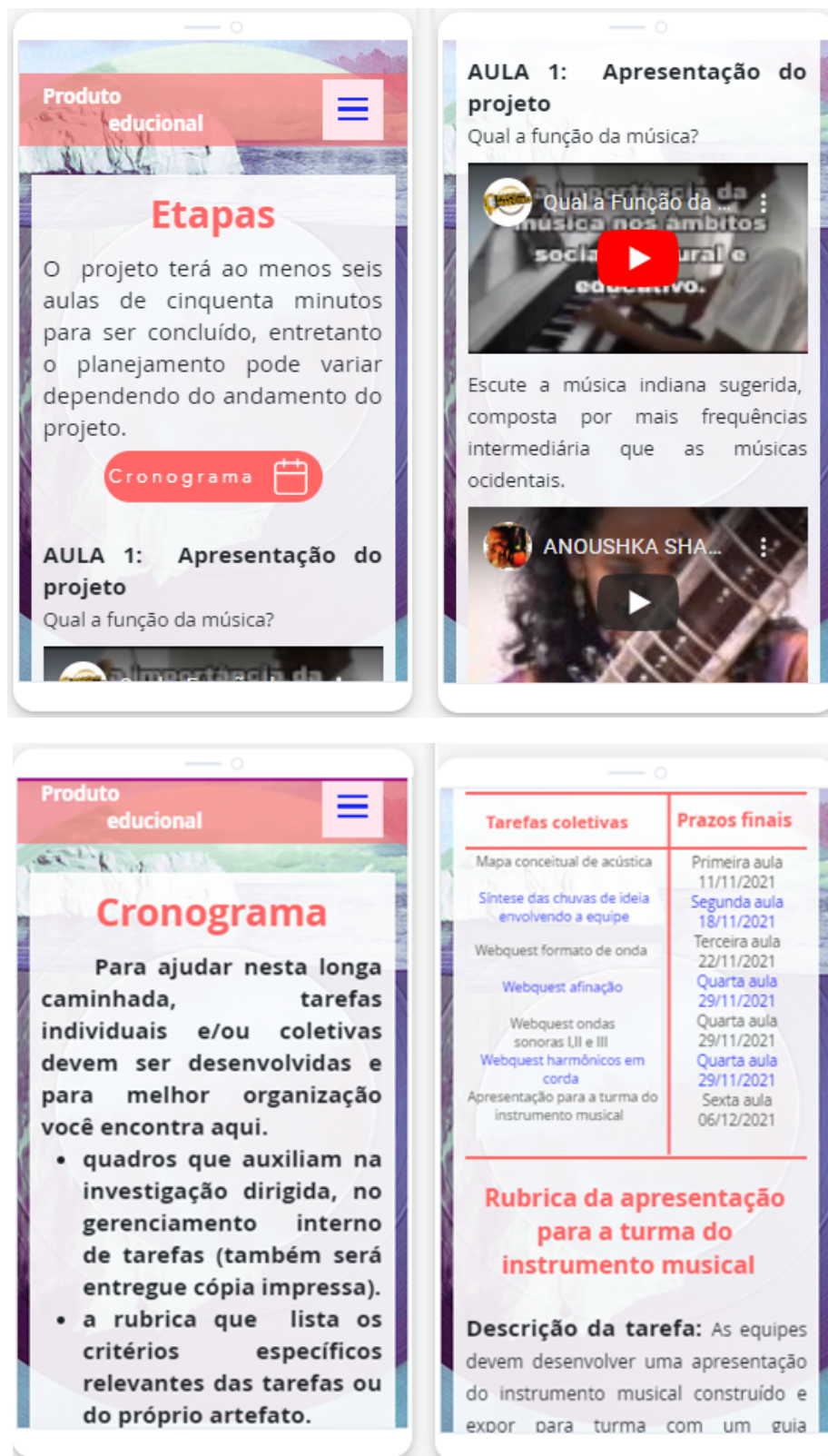
³⁴ Para uma melhor experiência, acesse a seção diretamente pelo seguinte endereço de internet: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

Figura 7: Conteúdo da aba “O projeto”.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8: Conteúdo das abas “Etapas” e “Cronograma”.



Fonte: Elaborado pelo autor

“Toda música que escutamos, de um samba de rua a um sofisticado concerto sinfônico, envolve a produção de ondas pelos artistas e a detecção dessas ondas pela plateia” (HALLIDAY, RESNICK, 2016 p.275). O som é um tipo de onda denominada onda mecânica que só existe e se propaga em meios materiais. A definição de onda e demais classificações estão presentes na figura 9.

Figura 9: Conteúdo do texto de apoio sobre ondas.

Ondas

Onda é conceito abrangente e diz respeito desde o movimento de torcida em uma ola até as propriedades presentes na mecânica quântica. Em si, as ondas são oscilações que transportam apenas energia.

As ondas podem ser classificadas, quanto à direção de oscilação, como transversal, caso as oscilações sejam perpendiculares em relação à direção de

As ondas podem ser classificadas, quanto à direção de oscilação, como transversal, caso as oscilações sejam perpendiculares em relação à direção de

Onda transversal

Transverse Wave

Longitudinal Wave

Onda Longitudinal

As ondas podem ser classificadas

As ondas podem ser classificadas quanto a sua natureza:

Onda mecânica

precisa de material para se propagar.

Onda eletromagnética

podem se propagar no vácuo, são ondas transversais, formadas por oscilação de campos elétricos e magnéticos variáveis.

Fonte: Elaborado pelo autor

Tratando o som como onda mecânica longitudinal, segundo Halliday e Resnick (2016, p.345), a velocidade de propagação do som depende “das propriedades inerciais do meio (para armazenar energia cinética) como das propriedades elásticas do meio (para armazenar energia potencial)”. De modo geral, a velocidade do som será maior em sólidos do que líquidos, e ainda menor no meio gasoso, como indica a tabela 1.

Tabela 1: Velocidade do som em alguns meios.

	Material	Velocidade do som (m/s)
Gases	Ar (20°C, 50% de umidade)	344
	Ar (0°C, 50% de umidade)	322
	Hidrogênio (15° C)	1290
	Hidrogênio (0° C)	1261
	Oxigênio (0° C)	346
	Oxigênio (15° C)	324
Líquido	Água (20° C)	1490
	Benzeno (20° C)	1250
Sólidos	Aço (20°C)	5000
	Cobre (20°C)	3719

Fonte³⁵: Adaptado de Fernandes, J.C. Acústica e ruídos.

Outra forma alternativa para deduzir a velocidade de propagação do som (v) consiste no quociente entre a distância percorrida pelo intervalo de tempo. A distância de duas cristas consecutivas definida como comprimento de onda (λ) demarca uma oscilação completa e considerando que intervalo de tempo para uma oscilação completa é definido como período da onda (T), a velocidade pode ser calculada por $v=\lambda/T$.

Avaliando o som como um fenômeno ondulatório periódico, denomina-se a frequência como o número de repetições que uma onda repete em um intervalo de um segundo. A audição humana é capaz de ouvir ondas sonoras de frequência entre 20 a 20 mil Hz, no qual abaixo de vinte oscilações por segundo encontram-se os infrassons e acima dos 20 mil hertz encontram-se os ultrassons.

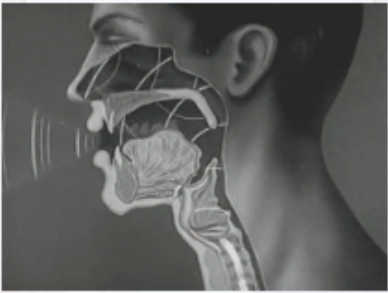
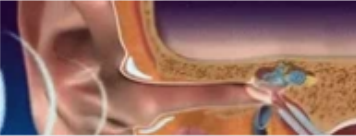
A frequência (f) nada mais é do que inverso do período, assim sendo $v=\lambda/T$ equivale à expressão $v=\lambda.f$. As figuras 10 até a 13 são referentes ao texto de apoio especificamente às ondas sonoras que estão no *website* e descrevem outros aspectos do som.


³⁵ Disponível em: <www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/Apostila/capitulo%2003.pdf> Acesso em: 10 de abril de 2019.

Figura 10: Conteúdo do texto de apoio sobre ondas sonoras.

Ondas sonoras

O som trata-se de uma onda muito comum, resultado de sinais que se propagam pelo ar através da oscilação das moléculas e que os ouvidos dos animais conseguem traduzir como sons.

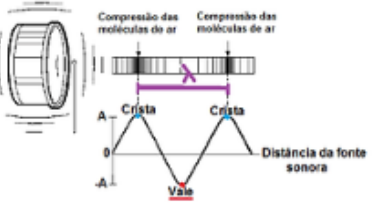


As ondas sonoras surgem ao oscilar uma superfície bidimensional (como ao tocar um tambor ou bater palmas), as moléculas do ar próximas à essa superfície são postas em movimento e interagem com outras moléculas adjacentes gerando uma compressão do ar. Essa compressão, por sua vez, se movimenta na mesma direção de propagação do pulso, pois as moléculas inicialmente comprimidas, ao colidir com moléculas vizinhas, transferem momento linear gerando a

moléculas vizinhas, transferem momento linear gerando a propagação do pulso.

Todos os tipos de ondas podem ter sua velocidade de propagação (v) calculada através do produto do comprimento de onda (λ) pela frequência (f), ou seja, $v = \lambda \cdot f$. Uma onda sonora é dita harmônica quando possui um perfil senoidal e tem a frequência (f) de onda constante, vale lembrar que frequência também pode ser determinada pelo número de oscilações completas que passam por um ponto em um determinado tempo, enquanto que o comprimento de onda (λ) pode ser determinado como a distância entre dois pontos equivalentes consecutivos e correspondentes, como a distância entre dois vales ou duas cristas consecutivas, conforme a figura abaixo.

ou duas cristas consecutivas, conforme a figura abaixo. (NUSSENZVEIG, 2002).



Considerando que esse movimento se repita sistematicamente, a grandeza período (T) será definida como o intervalo de tempo fixo para que um ciclo oscilatório ocorra. Complementarmente é possível determinar também a grandeza física frequência (f) como a quantidade de ciclos oscilatórios em um dado intervalo de tempo. Essas definições permitem relacionar matematicamente essas duas grandezas por meio da equação $T = 1/f$. De acordo com o

Figura 11: Conteúdo do texto de apoio sobre frequência de uma onda.

essas duas grandezas por meio da equação $T=1/f$. De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), o período é medido em segundos, enquanto a frequência é medida em hertz (Hz), sendo um hertz o equivalente a um ciclo que se repete a cada segundo, assim $1\text{ Hz} = 1\text{s}^{-1}$.




A altura do som é uma importante característica e, embora esteja ligada fisicamente à frequência sonora, costuma ser associada à percepção do ouvido humano para os sons agudos (“finos”) e graves (“grossos”). Para a música ocidental dividimos algumas alturas do som em 7 tons, onde a cada oitava acima, repete-se a nota musical com o dobro da frequência. Repare que Lá 880 Hz, terá uma oitava acima Lá 440Hz, além disso as teclas pretas do piano são semitons, Dó sustenido ou Ré bemol está em destaque com frequência intermediária de 278Hz.





Uma afinação comum para o violão é como a figura abaixo, sendo que a corda 6 oscila 82,4 vezes a cada segundo, enquanto que a a corda 1 oscila mais rápido 329,6 Hz, mas soa como uma nota Mi mais aguda (com altura mais alta) em relação a sexta corda. A corda 5 faz o ar vibrar a uma frequência 110 Hz.



Cordas	Frequência (Hz)
6 Mi	82,4
5 Lá	110,0
4 Ré	146,8
3 Sol	196,0
2 Si	246,9
1 Mi	329,6

A audição humana é capaz de identificar sons de frequência de vinte a vinte mil hertz, abaixo vinte hertz são os infrassons, enquanto que os ultrassons têm frequências superiores à 20.000 Hz. Já os animais de estimação têm audição mais sensível e o som de fogos de artifícios e rojões podem ser dolorosos e extremamente perigosos.

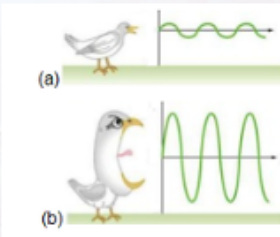
60 - 65000 Hz	20 - 20000Hz	15 - 50000 Hz
		

Faça o teste para analisar a sua audição:



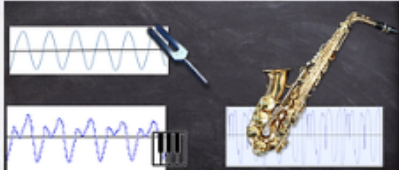
Figura 12: Conteúdo do texto de apoio sobre intensidade e timbre de uma onda.

A intensidade sonora é uma característica importante, por exemplo, o som emitido pelo pássaro em (a) é um som fraco, com intensidade pequena, enquanto que no item (b) o som é mais forte. Ambos os sons tem a mesma altura (mesma frequência), mas em intensidades diferentes.




Timbre é uma característica do som que permite identificar o instrumento que emite uma determinada frequência, uma

instrumento que emite uma determinada frequência, uma mesma nota será percebida de forma distinta devido a diferença entre os timbres.

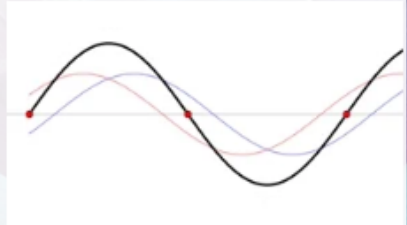


Tons puros como o emitido pelo diapásão são desagradáveis de ouvir.

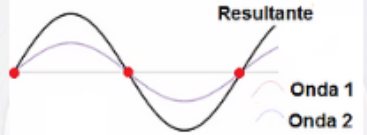


Sons agradáveis de ouvir são combinações de ondas puras viajando juntas. De certa forma, o trabalho de músico é combinar e montar uma série de ondas que sejam interpretadas como uma música. Mas como sons distintos podem se combinar?

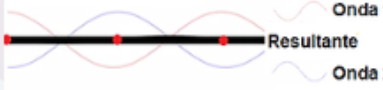
A partir da interferência de duas ou mais ondas. Começando pelo exemplo mais simples, duas ondas sonoras idênticas (com mesma frequência e volume) interagem.



Se ambas as ondas estão em fase (as cristas das ondas estão perfeitamente alinhadas). Haverá o aumento da intensidade volume do som, interferência construtiva.



Se o vale de uma onda está alinhado com a crista da outra onda. O fone de ouvido que reduz o ruído externo usa o princípio da interferência destrutiva para cancelar o barulho.



Duas ondas ou mais sofrem

Figura 13: Conteúdo do texto de apoio sobre intensidade e timbre de uma onda.



Fonte: Elaborado pelo autor

Caso queira alterar a seção voltado aos alunos, crie uma conta em wix.com através de uma conta *google* e envie seu contato para o email adrianluizrizzo@gmail.com solicitando sua cópia.

A seguir são detalhados as orientações e planejamento para sequência didática. Será especificada a carga horária prevista para cada uma das etapas da ABP.

3 ORIENTAÇÕES E PLANEJAMENTO PARA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

É recomendado que essa sequência didática seja implementada em turmas de segundo ano do Ensino Médio para o ensino de Acústica. O quadro 1 mostra resumidamente as oito etapas da ABP de Bender (2014) propostas por Pasqualetto, Veit e Araújo (2018).

Quadro 1: Cronograma planejado para a sequência didática.

Semana	Etapas da ABP	Processo principal decorrente da TAS
1ª semana	Apresentar o projeto.	Identificação dos conhecimentos prévios.
1ª semana	Planejar o projeto em equipes.	Início da diferenciação progressiva.
1ª semana	Desenvolver a pesquisa inicial	Introdução de organizadores prévios.
2ª semana	Criar, desenvolver a apresentação e os artefatos.	Processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.
2ª semana	Desenvolver a segunda etapa da pesquisa.	Processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.
3ª semana	Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos.	Sistematização e aprofundamentos dos conceitos.
1ª a 3ª semana	Avaliar o projeto.	Avaliação diagnóstica e contínua.
Evento externo/ 3ª semana	Publicar o projeto.	Consolidação ou domínio do que foi estudado.

Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 Etapa: Apresentar o projeto

Carga horária: 10 – 15 minutos

Súmula: Esta aula pretende apresentar a dimensão da importância da música, utilizando o vídeo na íntegra.

Vídeo 1 “Qual a função da música?”

<https://www.youtube.com/watch?v=o0UfQDmKPjw>

Ideia âncora: O som é fundamental para nossas vidas, mas será mesmo que há uma característica universal da música ou um padrão nos instrumentos musicais?

Metodologia: Utilização das ferramentas de Tecnologia de Comunicação e Informação (TCI), e estratégias didáticas remotas.

a) Plataforma Google Classroom para atividades assíncronas e síncronas.

b) *Website* versão aluno disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

Orientações para atividades assíncronas: Sugestão de uma música indiana composta por mais frequências intermediária se comparado com a escala de notas musicais ocidentais, disponível em www.youtube.com/watch?v=G8YyYlos6UU.

Orientações para atividades síncronas: Após a exibição do vídeo, o professor lerá a questão disparadora. A música tem diversas variantes (ANSEDE, 2019), muitas formas de expressar dependo da cultura, mas sempre com padrões rítmicos e melódicos. Por exemplo, a música ocidental é constituída por sete notas musicais Dó, Ré, Fá, Sol, Lá, Si e cinco semitons (frequências intermediárias padronizadas). Os alunos serão questionados se as características dos instrumentos musicais que produzem sons e interferem na sonoridade da música.

Vídeo 1³⁶ “O grupo Fulu Muziki, da República Democrática do Congo, transforma lixo em instrumentos musicais e em figurinos para shows”, será o pontapé inicial para motivar a escolha de um instrumento musical de baixo custo.

3.2 Etapa: Planejar o projeto em equipes

Carga horária: 50 – 60 minutos

Súmula: Planejamento do projeto em equipes, com a co-responsabilização de todos os seus elementos e com a diversidade das tarefas, realização de *Brainstorming*, dinâmica que ajuda a impulsionar ideias para desenvolver instrumentos musicais com qualidade e de baixo custo, em busca de compreensão de tópicos de acústica, dos fenômenos sonoros.

Questão motriz: Como desenvolver instrumentos musicais com qualidade e de baixo custo?

Metodologia: Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), e estratégias didáticas remotas.

a) Plataforma Google Classroom para atividades assíncronas e síncronas.

b) *Website* versão aluno disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

Orientações para atividades síncronas: As equipes serão escolhidas pelo professor com até cinco integrantes. Inicialmente o professor irá discutir com toda a turma a questão disparadora, utilizando a dinâmica *Brainstorming*, como mediador incentivará os alunos a pensar em perguntas que auxiliam na resolução e em momento nenhum irá criticar as sugestões dadas, pois pode ocasionar um bloqueio criativo da turma. Esgotada a fase de divergência de ideias, haverá uma avaliação por equipes para convergência das ideias mais relevantes (ideias próximas serão incorporadas à ideia central). Durante o encerramento desta etapa, todas as ideias

³⁶ Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/do-lixo-aos-palcos/av-51518560>. Acesso: 20 de outubro de 2021. Apresentação do grupo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ri2oK4gApMU> Acesso: 20 de setembro de 2022.

levantadas serão respeitadas, desenvolvendo um mapa conceitual com a síntese das ideias mais relevantes no quadro-branco ou no *Jamboard*.

Brainstorming sem inspiração, dependendo do tipo de instrumento musical o mediador pode indagar as seguintes questões-problema para investigação de cada equipe:

- a) Instrumentos de corda: Por que o som de um violão é diferente do som de um violino? O violão tem uma abertura no seu corpo. Para que serve isso? Cada corda emite um som diferente? Quais materiais para construção são necessários?
- b) Instrumentos de sopro: Em uma flauta, o tamanho e distância dos furos interfere no som produzido? Quais materiais para construção são necessários?
- c) Instrumentos de percussão: Como produzir um instrumento com **altura**³⁷ (frequência) do som definida? Quais materiais para construção são necessários?

Orientações para atividades assíncronas: Os alunos terão que manter os quadros de gerenciamento interno atualizados e cumprir os prazos previstos no cronograma geral.

Quadro 2 – Quadro que auxilia na investigação dirigida pelos alunos³⁸

O que faremos?	O que precisamos saber?	O que aprendemos durante as pesquisas?
Outros pontos importantes:		

Fonte: Adaptado da sugestão de Bender (2014, p.114)

³⁷ Facilmente confundido por intensidade sonora

³⁸ Todas as alterações são salvas automaticamente à medida que cada usuário digita. Cada um da equipe pode usar o histórico de versões do documento caso queiram resgatar uma versão antiga, e até ver o nome de quem fez cada uma das alterações. Os quadros estão disponíveis em: <<https://docs.google.com/document/d/1iJmZ7-3DAmTuTuzw252vsriottqswfdg1OVuSr0RUuw>>

Quadro 3 – Gerenciamento interno de tarefas do grupo

Tarefas do grupo	Responsável (eis)	Data da entrega

Fonte: Adaptado da sugestão de Bender (2014, p.112)

Quadro 4 - Cronograma geral das tarefas do projeto

Tarefas	Prazo final
Coletiva: Síntese das ideias do <i>Brainstorming</i>	Segunda aula
Individual: <i>Webquest</i> ondas sonoras I e II	Quarta aula
Coletiva: <i>Webquest</i> ondas sonoras III	Quinta aula
Individual: <i>Webquest</i> formato de onda	Quinta aula
Individual: <i>Webquest</i> harmônicos em corda	Quinta aula
Coletiva: apresentação para a turma do instrumento musical construído	Sexta aula

3.3 Etapa: Desenvolver a pesquisa inicial

Carga horária: 40 – 50 minutos

Súmula: Início do desenvolvimento da pesquisa de com uma apresentação panorama geral de acústica, o contexto histórico de como surgiram as notas surgiram, associando com conceitos de frequência e período de uma onda sonora.

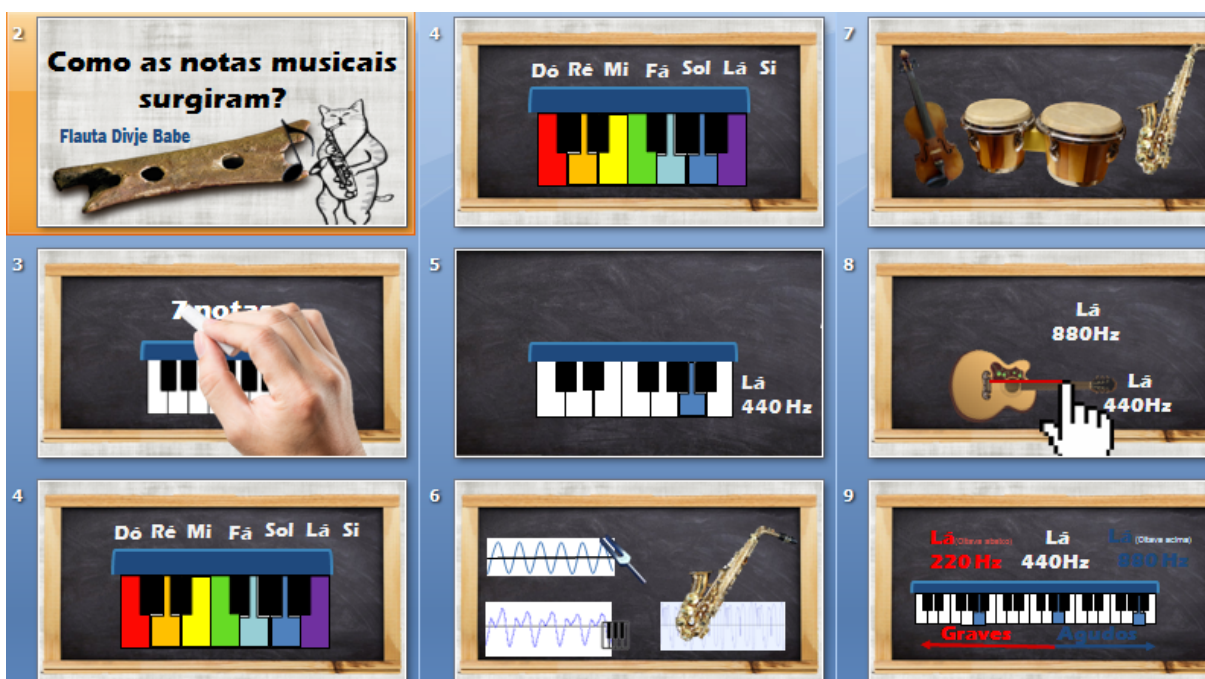
Questão disparadora: Como as notas musicais surgiram?

Metodologia: Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), e estratégias didáticas remotas.

- a) Plataforma Google Classroom para atividades assíncronas e síncronas.
 b) *Website* versão aluno disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

Orientações para atividades síncronas: Apresentação de “Como as notas musicais surgiram?”. No contexto histórico, (HURON, 2012) há muito tempo que a música faz parte da nossa cultura, o paleontólogo Ivan Turk descobriu uma flauta feita do osso do fêmur de um urso, enquanto escavava um túmulo antigo na Eslovênia em 1997, estima-se que a idade dessa flauta entre 43000 anos a 82.000 anos). O distanciamento dos furinhos circulares no osso sugere que a música já estava presente, com as notas que a gente toca atualmente, surgindo de forma natural na base da intuição de som que agradam a espécie humana.

Figura 14: Apresentação “Como as notas musicais surgiram?”



Fonte: Elaborado pelo autor

Orientações para atividade assíncrona: O professor disponibiliza a rubrica (quadro 5) da apresentação para a turma do instrumento musical para as equipes tenham ciência da expectativa que o professor tem referente ao desempenho na apresentação, definindo os indicadores que serão avaliados durante a atividade.

Quadro 5: Rubrica da apresentação para a turma do instrumento musical.

<u>Descrição da tarefa:</u> As equipes devem desenvolver uma apresentação do instrumento musical construído e expor para turma com um guia ilustrado contendo suas principais características. As apresentações devem ser de, aproximadamente, 10 minutos. Avalie as demais equipes com os indicadores, concedendo pontos e argumentando com bases nos conceitos de acústica.		
Questão	Indicadores	Comentários e pontos concedidos
Caracterização do instrumento musical (30 pontos da pontuação)	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta como o som é produzido pelo instrumento. • Descreve as etapas de construção. 	
Afinação do instrumento (30 pontos da pontuação)	<ul style="list-style-type: none"> • Sugere os aspectos principais que alteram a frequência de oscilação. • Propõe maneiras de afinar o instrumento. 	
Impacto da apresentação (30 pontos da pontuação)	<ul style="list-style-type: none"> • Uma melodia curta foi apresentada. • Essa apresentação é adequada ao uso para comunidade escolar. • O guia ilustrado foi bem elaborado. 	
Eficiência geral (10 pontos da pontuação)	<ul style="list-style-type: none"> • Essa apresentação é conveniente e atraente • Essa apresentação me convenceu. 	

Fonte: Adaptado da sugestão de Bender (2014, p.135)

3.4 Etapa: Criar, desenvolver a apresentação e os artefatos

Carga horária: 50 – 60 minutos

Metodologia: Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), e estratégias didáticas remotas.

a) Plataforma Google Classroom para atividades assíncronas.

b) *Website* versão aluno disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

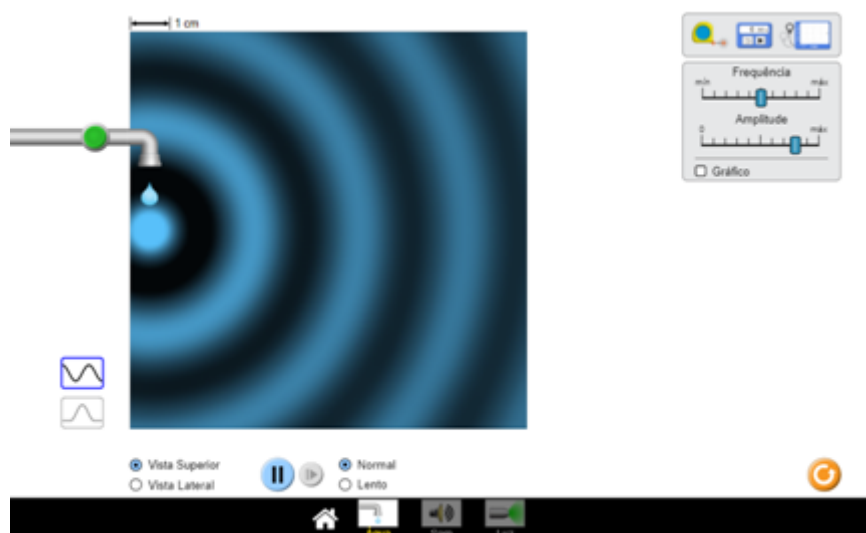
Orientações para atividades síncronas: Realização da mini lição disco de vinil. *Feedback* e reuniões com os grupos.

Orientações para atividade assíncrona: Realização da atividade individual Webquest Ondas sonoras I e II.

3.4.1 Webquest Ondas sonoras I

Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_pt_BR.html

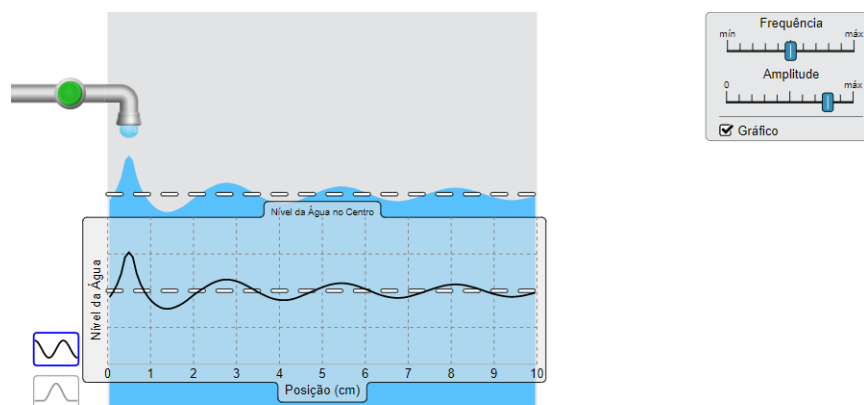
Figura 15: Tela inicial



Fonte: *print screen* da simulação *chrome experiments waves-intro*

Selecione água. Clique no 'botão verde' da torneira. Deixe cair gotas de água num recipiente cheio de água no estado líquido. A vista superior está como padrão, como olhar a superfície do recipiente. Marque as opções 'Vista Lateral' e 'Gráficos'.

Figura 16: Indicação do nível de água



Fonte: *print screen* da simulação *chrome experiments waves-intro*

1) O que a queda das gotas de água provocam quando atingem a superfície da água?

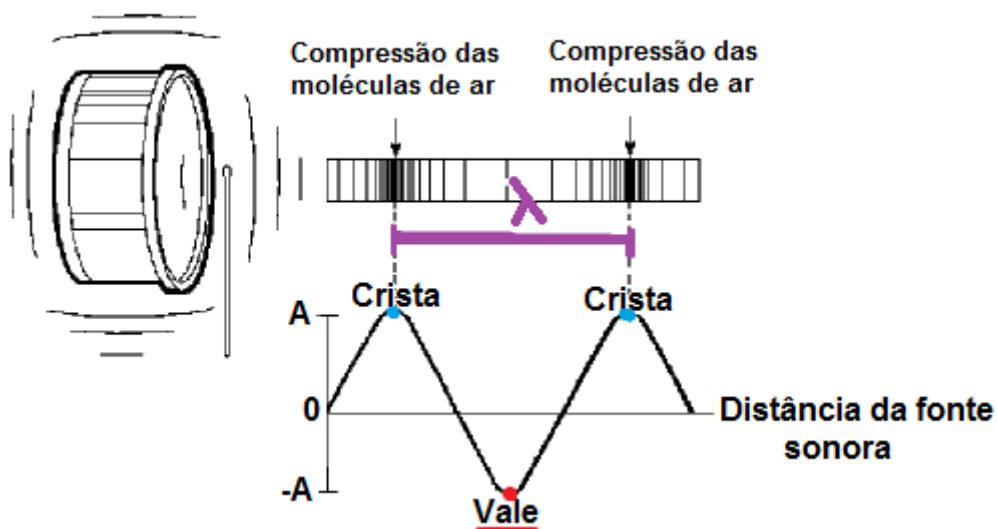
2) Aumente ou diminua o controle deslizante de amplitude. O que você observou em relação ao nível de água?

3) Mantendo fixa a amplitude, ao aumentar o valor da frequência, o que você observa?

Não sei por onde começar=>Seção ajuda

4) Define-se comprimento de onda λ como a distância entre dois pontos consecutivos na mesma fase, na imagem abaixo de referência λ distância entre duas cristas consecutivas (poderia ser entre dois vales consecutivos).

Figura 17 – Representação de uma onda sonora harmônica com amplitude A .



Fonte: Adaptado e traduzido de Julius Dawson (2016)³⁹.

5) Pergunta da seção:

Qual é o valor do comprimento de onda quando a frequência está no máximo?
_____ cm.

Não sei por onde começar=> Seção ajuda

Resposta certa=> Isso mesmo é 1,6 cm

³⁹ Disponível em: <https://slideplayer.com/user/6880346/> Acesso em: 10/02/2021.

6) Da mesma forma, qual é o valor do comprimento de onda quando a frequência está no mínimo? _____ cm.

Resposta certa: Isso mesmo é 6,6 cm



Na parte inferior, clique no ícone

O som é uma onda de pressão, inicialmente verificamos a pressão ambiente na escala de cinza. Clique no 'botão verde' no alto-falante. A área clara representa as regiões onde o ar está:

- () comprimido => Seção (É isso mesmo)
- () rarefeito => Seção (não é bem assim)

Seção (não é bem assim)

Selecione 'ambas', repare que alto-falante empurra as moléculas de ar quando se move para frente e deixa a área mais clara. De forma oposta, quando alto-falante se move para trás ele puxa as moléculas de ar, área mais escura.

Seção (É isso mesmo)

Selecione 'ambas'. De forma oposta, quando alto-falante se move para trás ele puxa as moléculas de ar, área mais escura.

7) Ao selecionar Tom de Reprodução , o que acontece com som ao diminuir ou diminuir a amplitude?

8) O que acontece com som ao diminuir a frequência?

Precisa de ajuda? Seção ajuda II

Avaliando a atividade

O que você achou da atividade?

Atribua uma classificação para esta atividade.

1-Não gostei da atividade

5-Amei a atividade

Seção ajuda: Vamos consultar os seguintes *sites* como fontes confiáveis:

<https://fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatória/ondas/equacao-da-onda-equacao-fundamental-da-ondulatória>

<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas-sonoras.htm>

Seção ajuda II:

<http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-do-som.html>

<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/intensidade-timbre-altura.htm>

3.4.2 *Webquest* Ondas sonoras II

Seção 1: Acesse: <https://musiclab.chromeexperiments.com/Sound-Waves>

Na simulação os pontos azuis representam moléculas de ar que se vibram na frequência de emissão do teclado virtual, a primeira tecla branca à esquerda emite a nota Dó.

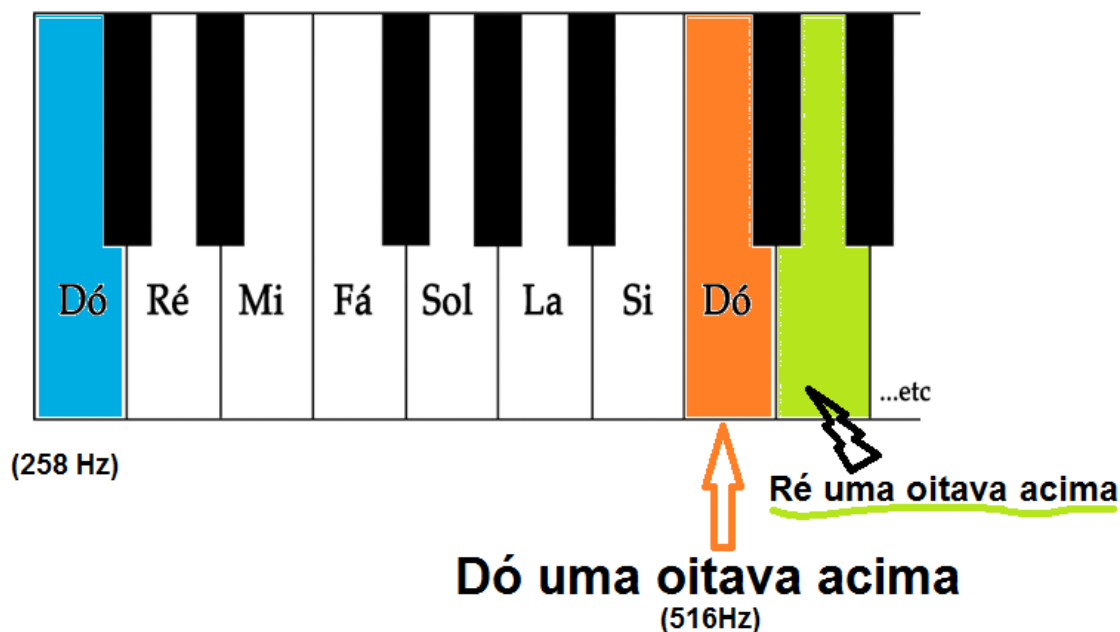
Ao selecionar na lupa uma molécula ar fica em destaque, repare que ao teclar uma nota, um gráfico com a posição desta molécula em forma da onda.

1) O que acontece com o comprimento de onda conforme tocamos as teclas mais a direita do teclado?

Seção 2:

2) Reparou que o som ficou agudo? A frequência de 293 Hz corresponde a segunda tecla branca da esquerda, qual seria a frequência correspondente à nota Ré uma oitava acima?

Figura 18 - Representação das notas emitidas pelas teclas de um piano.



Fonte: Adaptado de Felipe Scagliusi

Disponível em: <https://www.aprendendopiano.com.br/entendendo-as-teclas-do-piano/>

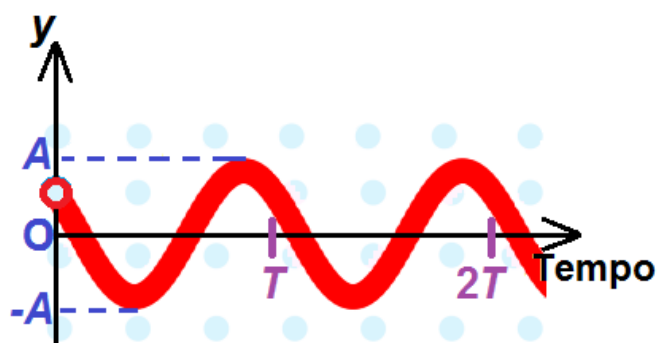
Outra notação comum é C para a nota Dó, D para a nota Ré, E para a nota Mi, F para a nota Fá, G para a nota Sol, A para nota Lá e B para nota Si, sendo # para sustenido e b para bemol, notas intermediárias. Desta forma C# é a nota Dó sustenido equivalente a nota Db (Ré bemol).

Para saber mais: www.aprendendopiano.com.br/entendendo-as-teclas-do-piano/

Seção 3:

Aqui temos uma representação gráfica de uma onda sonora simples ao focar na posição (y) de uma única molécula de ar com o passar do tempo (t), com a amplitude de oscilação A .

Figura 19 - A linha vermelha representa graficamente $y(t)$.



Fonte: Adaptado de *print screen* da simulação *chrome experiments Sound-Waves*

A molécula de ar oscila em torno do ponto equilíbrio O , o maior afastamento desta posição é a amplitude da onda.

A cada período (T), a molécula de ar retorna à posição inicial, alternativamente o intervalo entre as cristas da onda também é o período (T).

3) Quem tem o período maior, a primeira tecla Dó ou a tecla Dó uma oitava acima? Justifique.

3.5 Etapa: Desenvolver a segunda etapa da pesquisa.

Carga horária: 50 – 60 minutos

Metodologia: Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), e estratégias didáticas remotas.

a) Plataforma Google Classroom para atividades assíncronas e síncronas.

b) *Website* versão aluno disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

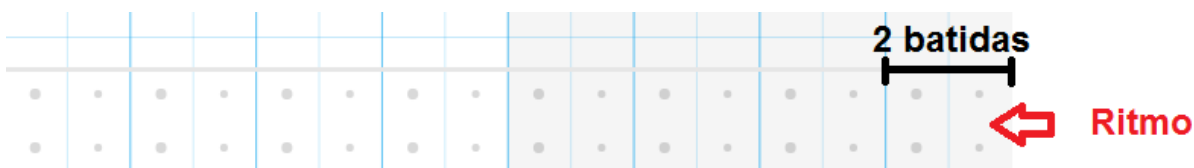
Orientações para atividades síncronas: Realização da *webquest* criando uma canção. *Feedback* e reuniões com os grupos.

Orientações para atividade assíncrona: Realização da *webquest* ondas sonoras III.

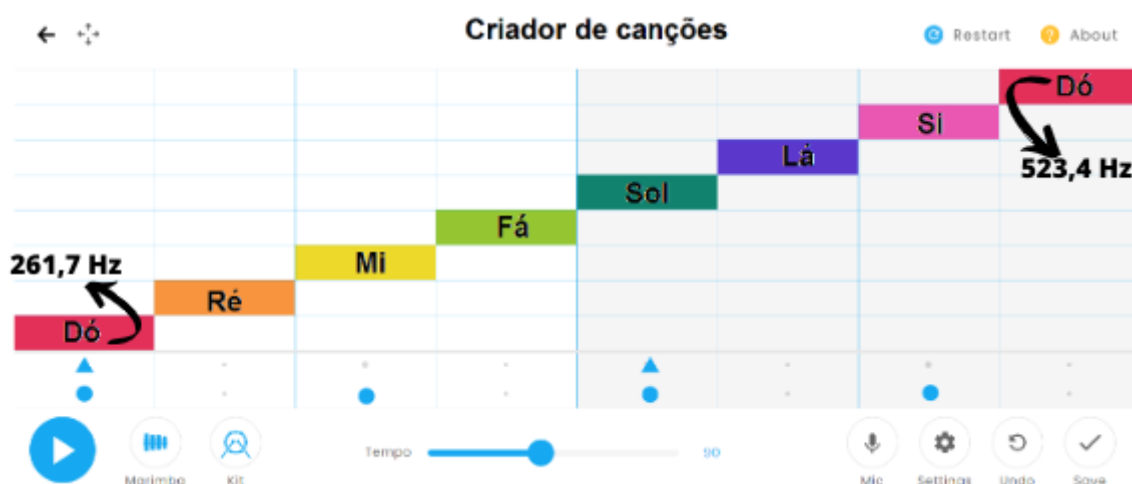
3.5.1 *Webquest* criando uma canção

Acesse a simulação: <https://musiclab.chromeexperiments.com/Song-Maker/>

Quem nunca bateu os pés no ritmo de uma música que escuta? O ritmo não é mais do que padrão de som seguindo um tempo específico, normalmente as músicas utilizam quatro batidas. Ao abrir a simulação a seguir, divide inicialmente em duas batidas.



As notas podem ser adicionadas ou removidas facilmente ao selecioná-las e seguem sempre o mesmo padrão da imagem abaixo.



O segredo está em manter os padrões e a ciência pode ser nossa aliada.

Experimente adicionar numa mesma coluna, Dó de oitavas diferentes. Viu só, parece uma nota só. Repare que a nota Dó uma oitava acima tem a frequência de 523,4 Hz que representa o dobro da nota Dó inicial de 261,7 Hz.

E agora, notas muito próximas são dissonantes para nosso ouvido quando tocadas simultaneamente!

E quanto ao ritmo? Você consegue descobrir o ritmo da composição abaixo?

<https://musiclab.chromeexperiments.com/Song-Maker/song/4570447509716992>

Parece que o compositor adicionou algumas notas extras no final. Viu só como dá pra fazer uma música simples, você consegue reconhecer essa música?

Mais exemplo, mas o ritmo da bateria alterou no fim da composição:

<https://musiclab.chromeexperiments.com/Song-Maker/song/4707680225067008>

Avaliando a atividade

O que você achou da atividade?

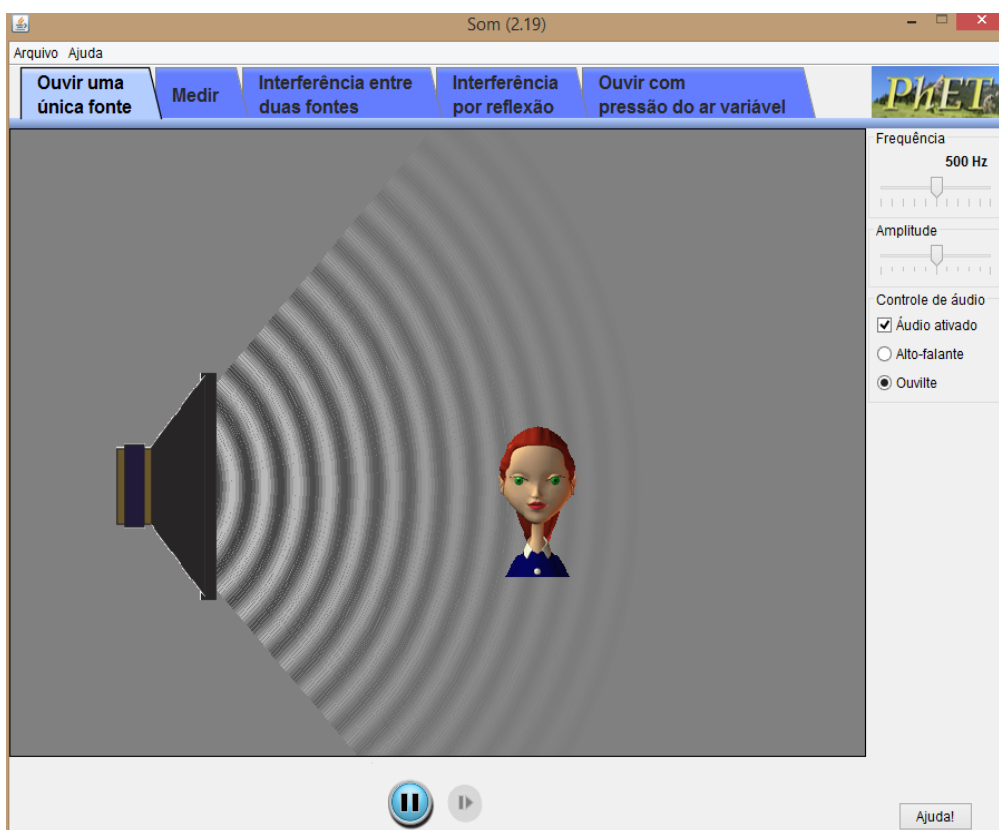
Atribua uma classificação para esta atividade.

1-Não gostei da atividade

5-Amei a atividade

3.5.2 Webquest Ondas sonoras III

A atividade requer a instalação de uma simulação que se encontra no endereço https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound. Para tornar a experiência mais imersiva, utilize fones de ouvido. Selecione as opções áudio ativado e ouvinte.



Fonte: Interface da simulação.

- 1) Na simulação sobre ondas sonoras, acesse a guia 'Ouvir uma única fonte'.
 - a. Explique o que acontece quando você move o ouvinte para frente e para trás.
 - b. Aumente e diminua a frequência. O que acontece com as ondas sonoras? (Observe a armação que é a parte móvel do altofalante)
 - c. Aumente e diminua a amplitude, mantendo uma frequência constante. O que acontece com o som? (Observe a armação que é a parte móvel do altofalante)
 - d. O que você pode concluir sobre a amplitude e a frequência das ondas sonoras? Justifique sua resposta.
- 2) Na simulação de ondas sonoras, acesse a guia 'medir'

- a) Automaticamente, a frequência de 500Hz está selecionada. Utilizando a régua, determine o comprimento desta onda sonora.
- b) Estime a velocidade do som na simulação. Como você chegou à estimativa?

3) Acesse a guia 'Ouvir com pressão do ar variável'.

- a. O que você pode ouvir quando a pressão está em uma atmosfera?
- b. Agora retire o ar da caixa. Durante esse processo, o que aconteceu com som?
- c. O que você pode concluir sobre o som no vácuo? Por que você acha que isso acontece?

Você pode utilizar os seguintes sites como fonte consulta:

<https://www.coladaweb.com/fisica/ondas/qualidades-do-som>

<https://aprendateclado.com/timbre/>

<http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-do-som.html>

<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/as-ondas-sonoras-.html>

3.6 Etapa: Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos.

Carga horária: 50 – 60 minutos

Metodologia: Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), e estratégias didáticas remotas.

- a) Plataforma Google Classroom para atividades assíncronas e síncronas.
- b) *Website* versão aluno disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

Orientações para atividades síncronas: Reunião com cada grupo e verificando os protótipos dos instrumentos musicais construídos e as principais maneiras de afinar e *webquest* de afinação dos instrumentos.

Orientações para atividade assíncrona: Realização da *webquest* harmônicos em uma corda e a *webquest* formato de onda.

3.6.1 Webquest harmônicos em uma corda

Disponível em: <https://docs.google.com/forms/d/1FogZwt73bszPb0kgUCapk2x5zKH10kEJWPISYwIUY3s>


Harmônicos em uma corda

Em um violão as extremidades das cordas são fixas com um comprimento L e tensionadas com tarraxas com uma força T . Ao tocar uma corda, esta vibra como uma onda estacionária em seu estado fundamental com comprimento de onda

Qual seu nome e sua turma?

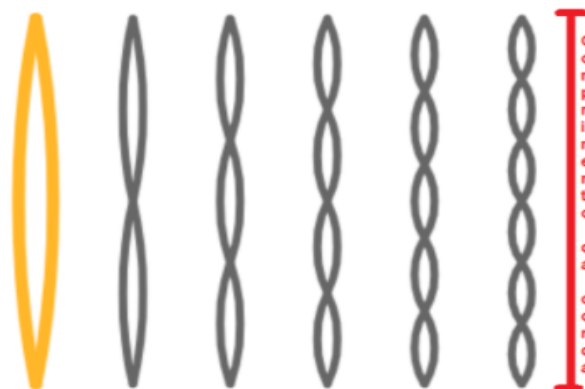
Texto de resposta curta

Gif ondas em cordas



Acesse a simulação: <https://musiclab.chromeexperiments.com/Harmonics>. O primeiro harmônico da simulação corresponde a 172 Hz. Você sabe qual a frequência do segundo harmônico?

1º harmônico



Fonte: Print screen da simulação

Sim

Não

Após a seção 1 Continuar para a próxima seção

Seção 2 de 10

Vamos consultar os seguintes sites como
fonte confiáveis para consulta:

<https://www.infoescola.com/fisica/harmonica/>
<https://www.proenem.com.br/enem/fisica/ondas-estacionarias/>

Após a seção 2 Ir para a seção 1 (Harmônicos em uma corda)

Seção 3 de 10

Qual a frequência do segundo harmônico?

Descrição (opcional)

- | | | | |
|--|---|--|---|
| <input type="radio"/> 344 Hz | × | Ir para a seção 4 (É isso mesmo! Soa ..., mas mais aguda.) | ▼ |
| <input type="radio"/> 172 Hz | × | Ir para a seção 2 (Vamos consultar os...s para consulta:) | ▼ |
| <input type="radio"/> 86 Hz | × | Ir para a seção 2 (Vamos consultar os...s para consulta:) | ▼ |
| <input type="radio"/> 42 Hz | × | Ir para a seção 2 (Vamos consultar os...s para consulta:) | ▼ |
| <input type="radio"/> Não é possível determ... | × | Ir para a seção 2 (Vamos consultar os...s para consulta:) | ▼ |

Seção 4 de 10

É isso mesmo! Soa a mesma nota musical,
mas mais aguda.

A frequência 344 Hz é uma oitava acima

Após a seção 4 Ir para a seção 6 (Relembrando que fr...mprimeto de onda) ▾

Seção 5 de 10

Help me!

Essa é difícil mesmo...Que tal dar uma olhadinha neste vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=r-UiPaeCISs>

Seção 6 de 10

Relembrando que frequência emitida pela
corda e o comprimento de onda

Reparou que a frequência aumenta e o comprimento de onda diminui?
Para todos os tipos de ondas a velocidade V calculada através do produto do comprimento de onda (λ) e da frequência (f), ou seja, $V = \lambda f$

A corda no estado fundamental emite a 172 Hz, corresponde ao primeiro harmônico. Qual a frequência para o quarto harmônico?

- 258 Hz
- 430 Hz
- 430Hz
- 688 Hz

Seção 7 de 10

Exatamente 688 Hz, muito legal.

Descrição (opcional)

Considerando que a velocidade de som de 344 m/s no ar, qual seria o comprimento de onda?

2 m

1,5 m

1 m

0,5 m

0,25 m

Seção 8 de 10

Não é bem isso

Como $V = \lambda f$, implica que:
 $344 = \lambda \cdot 688$
 $344/688 = \lambda = 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm}$

Após a seção 8 Ir para a seção 10 (Avaliando a atividade)

Seção 9 de 10

Parabéns

Muito obrigado por realizar a tarefa, só falta a sua avaliação na próxima seção

Seção 10 de 10

Avaliando a atividade

O que você achou da atividade?

Atribua uma classificação para esta atividade.

1-Não gostei da atividade

5-Amei a atividade

3.6.2 Webquest formato de onda

Acesse o *site* <https://musiclab.chromeexperiments.com/Oscillators/>

Figura 1: Interface da simulação Oscillators



```
oscillator.type = 'sine';
```

Fonte: *print screen* da simulação.

A simulação consiste em emitir ondas sonoras que vibram em taxa constante produzida pelo dispositivo de reprodução de áudio. A partir da interação inicial com `oscillator.type = 'sine'`

- 1) Descreva com um palavra o som percebido nas seguintes frequências:
 - a) 1400Hz
 - b) 120 Hz
 - c) 25 Hz

Sou curioso:

- 2) Será que estou perdendo minha audição?
- 3) Experimente os outros tipos de osciladores. Para uma frequência constante, o que muda em cada um deles?

3.6.3 Webquest afinação dos instrumentos



Seção 1 de 2

Afinando instrumentos de corda

Webquest de afinação de instrumentos de corda. Oportunidade perfeita para investigar como são possíveis notas e sons emitidos pelo artefato recém construído. Atenção a afinação do instrumento musical será feita de forma eletrônica através do aplicativo [soundcorset](#) afinador e metrônomo.

E-mail *

E-mail válido

Este formulário está coletando e-mails. [Alterar configurações](#)

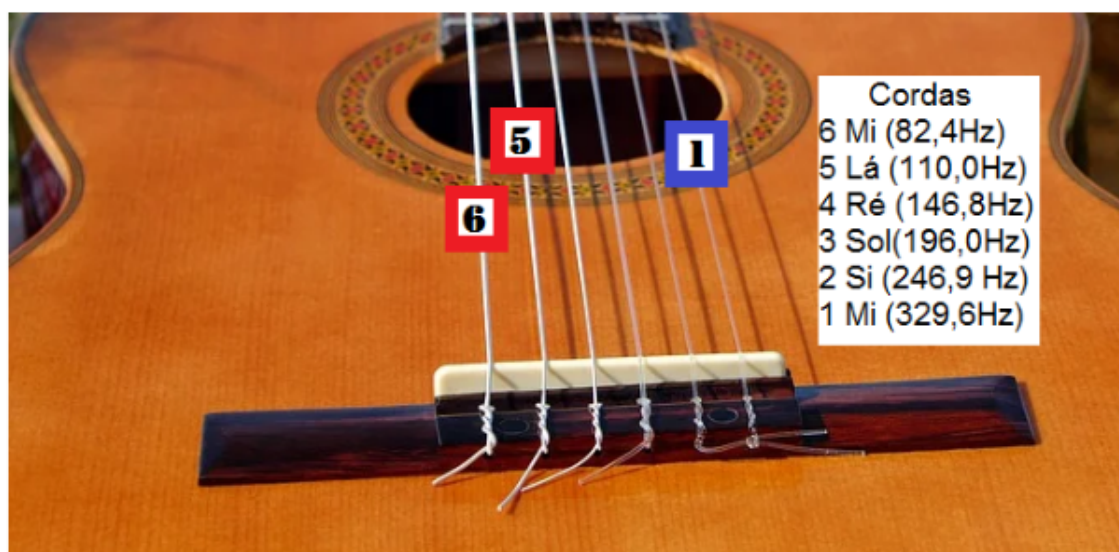
Ao construir seu artefato, o que acontece com o som quando esticamos mais a corda? *

1. O som fica mais agudo
2. O som fica mais grave

Selecione TODAS as alternativas que completam a frase: Se você substituir uma corda original de um violão por outra mais densa (por exemplo, trocando uma corda de nylon por latão), o som emitido pela corda comparado com o original será...

- mais agudo
- com maior frequência
- com menor frequência
- mais grave
- com comprimento de onda menor
- com comprimento de onda maior

Selecione TODAS as alternativas que completam a frase: A quinta corda de uma guitarra afinada emite a nota Lá (com frequência de 110,0Hz) quando dedilhada em seu comprimento total, caso a corda seja tocada em ponto que divide a corda pela metade o som será ...



Fonte: Modificado de Robert Bresson
Pixabay License

- mais agudo
- com maior frequência
- com menor frequência
- mais grave
- com comprimento de onda menor
- com comprimento de onda maior
- com frequência de 110 Hz
- com frequência de 55 Hz
- com frequência de 220 Hz

Seção 1 de 2

Afinando os instrumentos de sopro

Webquest de afinação de instrumentos de sopro. Oportunidade perfeita para investigar como são possíveis notas e sons emitidos pelo artefato recém construído.

Atenção a afinação do instrumento musical será feita de forma eletrônica através do aplicativo soundcorset afinador e metrônomo.

E-mail *

E-mail válido

Este formulário está coletando e-mails. [Alterar configurações](#)

Ao construir seu artefato, o que acontece com o som se o tubo sonoro fosse mais curto? *

1. O som fica mais agudo
2. O som fica mais grave

⋮

Selecione TODAS as alternativas que completam a frase: Ao tocar uma flauta de Pã, o som emitido no tubo mais comprido comparado com os demais tubos é ... *



Fonte: ItotonboStudios, 2016.
Pixabay License

- mais agudo
- com maior frequência
- com menor frequência
- mais grave
- com comprimento de onda menor
- com comprimento de onda maior

Selecione TODAS as alternativas que completam a frase corretamente: Considerando uma flauta emitindo a nota Lá (com frequência de 110,0Hz) quando o ar vibra em seu comprimento total, caso a flauta tivesse a metade deste comprimento, o som emitido seria ... *

- mais agudo
- com maior frequência
- com menor frequência

- mais grave
- com comprimento de onda menor
- com comprimento de onda maior
- com frequência de 110 Hz
- com frequência de 55 Hz
- com frequência de 220 Hz

Seção 1 de 2

Afinando os instrumentos de percussão

Webquest de afinação de instrumentos de percussão. Oportunidade perfeita para investigar como são possíveis notas e sons emitidos pelo artefato recém construído.

Observação: Instrumentos de percussão emitem sons através da vibração de uma superfície bidimensional, normalmente não são afinados para uma frequência específica, mas são muito importante para marcar o ritmo de uma música.

Caso necessário a afinação do instrumento musical será feita de forma eletrônica através do aplicativo soundcorset afinador e metrônomo.

E-mail *

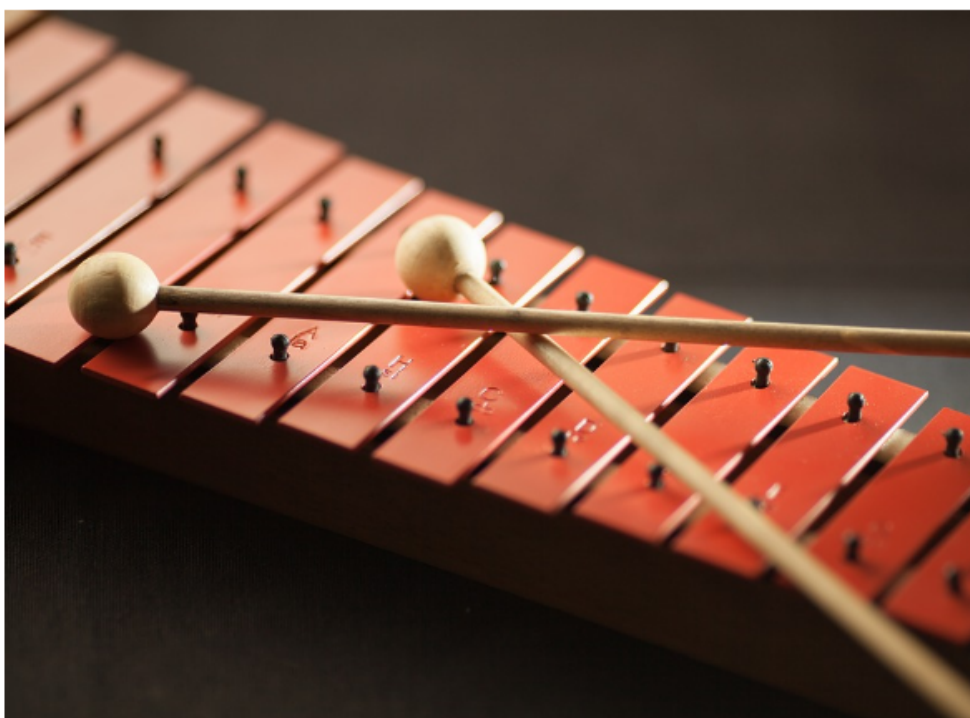
E-mail válido

Este formulário está coletando e-mails. [Alterar configurações](#)

Ao construir seu(s) artefato(s), quais fatores podem tornar o som mais grave ? *

Texto de resposta longa

Selecione TODAS as alternativas que completam a frase: Um dos poucos instrumentos de percussão que possui altura definida é o xilofone, cujo o som produzido pela vibração de placas de madeira, sendo que placas maiores produzem um som ... *



Fonte: Modificado de Alexander Lesnitsky, 2016.
Pixabay License

- mais agudo
- com maior frequência
- com menor frequência
- mais grave
- com comprimento de onda menor
- com comprimento de onda maior

Considerando que a velocidade de propagação do som igual a 340m/s, um som com frequência de 170 Hz tem

*

- comprimento de onda de 50 cm
- comprimento de onda de 1 metro
- comprimento de onda de 1,5 metro
- comprimento de onda de 2 metros
- comprimento de onda de 2,5 metros

Seção 2 de 2

Avaliando a atividade ✕ ⋮

Descrição (opcional)

O que você achou da atividade? *

Texto de resposta longa

Atribua uma classificação para esta atividade. *

1 2 3 4 5

Não gostei da atividade Amei a atividade

3.7 Etapa: Avaliar e publicar o projeto

Carga horária: 40 – 50 minutos

Metodologia: Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), e estratégias didáticas remotas.

a) Plataforma Google Classroom para atividades assíncronas e síncronas.

b) *Website* versão aluno disponível em: <https://adrianluizrizzo.wixsite.com/website>

Orientações para atividades síncronas: Importante salientar que o quadro que auxilia na investigação dirigida pelos alunos será utilizado para verificar a evolução conceitual relacionada à aprendizagem significativa de acústica. Durante a apresentação, cada grupo deverá externalizar os conceitos das ondas sonoras, em especial como são produzidas pelo instrumento construído.

Após as apresentação será construído um mapa conceitual de acústica com a participação da turma.

Orientações para atividades assíncronas: Ensaios para apresentação de melodias, possível exibição da música We Will Rock You, da banda Queen.

Publicação do projeto: Apresentação artística no Sarau Literário 2021⁴⁰ do Colégio Estadual Farroupilha usando os instrumentos construídos.

3.7.1 Recursos adicionais externos

Recursos	Endereço	Descrição
Gerador de fontes	https://tell.wtf/	Para aumentar os estilos de fontes
Imagens	https://pixabay.com/pt/	Banco de imagens Royalty Free
<i>Playlist</i>	https://www.youtube.com/watch?v=ZNhCJTcXwkU&list=PLwvYuo763weoKZ-x67Bgul_GrKBzE2BkM	Conjunto de vídeos abordando o som elaborado pela Khan Academy
Simulação	https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound	Simulação computacional de ondas sonoras
Simulação	https://musiclab.chromeexperiments.com/Experiments	Coleção de laboratório musical do google chrome
Vídeo	https://www.youtube.com/watch?v=o0UfQDmKPjw	O Impacto da música na vida das pessoas
Gifs	https://giphy.com/	Banco de gifs Royalty Free
Vídeo tutorial	https://www.youtube.com/watch?v=hQx72PwO1bg	Gamificando o google formulário através de seções
<i>Website</i>	https://www.coladaweb.com/fisica/ondas/qualidades-do-som	Portal educacional
<i>Website</i>	https://experiments.withgoogle.com/collection/chrome	Coleção de experimentos em Html 5

⁴⁰ Evento cancelado

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção da ABP não é simples principalmente na primeira experiência dos docentes, afinal quem de nós aprendeu em sua formação com metodologias ativas? Para tanto o *website* foi elaborado para orientação do professor e apoio à implementação da ABP sustentada pela TAS, tornando as aulas mais dinâmicas e centradas no aluno e promovendo possibilidades de construção e/ou aprofundamento de conceitos para a construção dos artefatos (soluções para a questão motriz do projeto).

Nosso primeiro contato da ABP ocorreu quando criamos um projeto curto de xadrez em 2019 com alunos do oitavo ano do Ensino Fundamental, cujo objetivo era responder a questão motriz de como fazer iniciação do xadrez com crianças do segundo ano do Ensino Fundamental? A experiência foi capaz de nos deixar mais seguros com o domínio das etapas da ABP, com protagonismo dos estudantes e confiantes para orientar as equipes à medida que os grupos elaboraram estratégias para confeccionar peças de xadrez e tabuleiros coloridos. Se você se sente inseguro, a criação e implementação de um pequeno projeto de ABP, ainda que extracurricular, certamente vai ajudar.

O uso do *website* poderá te ajudar tanto por trazer orientações específicas sobre a ABP como por te permitir a interação e avaliação contínua do trabalho dos estudantes. Através do *website*, os alunos poderão fazer as tarefas do projeto de acústica, conseguindo acessar fontes confiáveis de informação e elaborar artefatos durante a pesquisa. Cabe ressaltar também que cada vez mais o uso de tecnologias da comunicação é exigido para os cidadãos do século XXI, ainda que o acesso a essas tecnologias não esteja universalizado. Até por isso tomou-se o cuidado de construir o website simples, incorporando hiperlinks compatíveis com dispositivos móveis para auxiliar na investigação do projeto de acústica.

Há diversas plataformas gratuitas para elaboração de *websites*, *podcasts*, *webquests* que podem ser usadas como recursos para promover uma maior interatividade entre os alunos e o conhecimento e possibilitar a construção do conhecimento por parte dos alunos e não apenas um processo passivo de acumulação de informações. O produto educacional aqui disposto pode ser utilizado como primeira experiência na ABP adaptando elementos como cronograma e outras

páginas através da solicitação de cópia para o contato para o email adrianluizrizzo@gmail.com.

Caso queira elaborar seu próprio *site* é possível encontrar diversos tutoriais de plataformas de criação de *website* no *youtube*. Para isso, sugerimos os seguintes endereços de *internet* para:

1. plataforma Wix - disponível em: www.youtube.com/watch?v=PR6xfz6Mwec
acesso em: 14/05/2021.
2. plataforma google site - disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=eaXWSpYDSa4>, acesso em: 14/05/2021.

REFERÊNCIAS

ANSEDE, Manuel. A música segue padrões universais. El País, 2019. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2019/11/21/ciencia/1574361072_168465.html> Acesso em: 05 de jan 2020.

Bender, W. N.. **Aprendizagem Baseada em Projetos**: educação diferenciada para o século XXI. Porto Alegre: PENSO, 2014.

FRANCA, George. Os ambientes de aprendizagem na época da hipermídia e da Educação a Distância. *Perspect. ciênc. inf.*, Belo Horizonte , v. 14, n. 1, p. 55-65, Apr. 2009 .

HALLIDAY, D.; RESNICK, J.W.. **Fundamentos da Física**. 10.ed. São Paulo: LTC, v. 2, 2016.

HURON, David. Um instinto para a música: seria a música uma adaptação evolutiva? *Em Pauta*, Porto Alegre, v. 20, n. 34/35, 49-84, janeiro a dezembro 2012.

LIMA, EDILSON EXPEDITO DA SILVA. A ESCOLA PITAGÓRICA: Um Legado Incomensurável. TCC: ITAJUBÁ - MG 2016.

MOURA, D. A.; NETO, P. B. O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo. *Física na Escola*, v. 12, n. 1, 2011.

HEWITT, Paul G. *Física Conceitual*. São Paulo: Editora Bookman, 12ª edição, 2015.

PASQUALETTO, T. I.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino de Física : uma Revisão da Literatura Project-Based Learning in Physics Education : a Literature Review. v. 17, n. 2, p. 551–577, 2017.

SANCHES, Isabel. **Compreender, agir, mudar, incluir**. Da investigação-acção à educação inclusiva. *Revista Lusófona da Educação*: Lisboa, n. 5, p. 127-142, 2005.

STINGLIN, D. DA C. **RELAÇÕES ENTRE A PERCEPÇÃO MUSICAL E O ENSINO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS SONORAS**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

APÊNDICE B: MINI LIÇÕES

Mini lição onda transversal e onda longitudinal

As ondas podem ser classificadas como transversal ou longitudinal dependendo da direção de vibração em relação à direção de propagação da onda. Nesta mini lição você irá aprender que a onda sonora é classificada como longitudinal, entretanto a onda na corda em um violão é uma onda transversal.

Para a atividade proposta precisaremos de uma mola maluca. Fixando as duas extremidades da mola, ao comprima algumas espiras e depois soltá-las, observa-se um pulso de onda longitudinal, onde é possível observar uma região de compressão que se desloca por toda a mola. Caso esse movimento seja regular e periódico, os pulsos gerados formam ondas longitudinais.

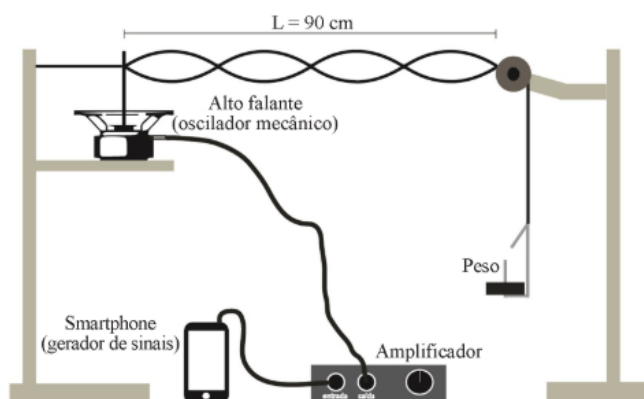
Com uma corda ou mesmo com uma mola, fixando uma das extremidades na direção horizontal, pode-se balançar na verticalmente, gerando um pulso de onda transversal, onde é possível observar que pulso se desloca perpendicularmente à direção de propagação. Caso esse movimento seja regular e periódico, os pulsos gerados formam ondas transversais, como ocorre ao tocar um instrumento de corda como o violão.

Mini lição onda sonora e harmônicos em uma corda

Ondas sonoras são produzidas em uma caixa de som por um oscilador mecânico (a membrana de um autofalante). Pensando nisso, Guedes (2015) e Cavalcante, Peçanha e Teixeira (2013) sugerem um experimento que utiliza a saída de áudio de um celular ou computador para gerar ondas de uma frequência específica e produzir ondas estacionárias em uma corda que está com uma das extremidades ligada a membrana de um autofalante e a outra extremidade ligado ao peso para manter a tração da corda constante.

A atividade busca trabalhar com conceitos como nodo e ventre de uma onda estacionária. A frequência natural f pode ser calculada pela equação (3), se o auto falante vibrar nesta frequência, a corda tracionada apresentará um ventre e dois nodos em suas extremidades. Outros padrões de onda estacionária são obtidos por

múltiplos inteiros de f , assim o segundo harmônico é obtido por $2f$, o terceiro harmônico é obtido por $3f$ e assim por diante.



Fonte: Guedes (2015, p.2)

Em um violão ou uma guitarra afinada, um padrão comum para as seis cordas com comprimento total são corda Mi (82,4Hz), Lá (110,0Hz), Ré (146,8Hz), Sol (196,0Hz), Si (246,9 Hz) e Mi (329,6Hz) conforme Coelho, Machado (2015). Ao dedilhar uma corda de violão numa porção de corda menor, a frequência emitida será maior.

Referências

CAVALCANTE, Marisa Almeida; PECANHA, Renata; TEIXEIRA, Anderson de Castro. Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 1-8, Sept. 2013.

COELHO, S. M.; MACHADO, G. R. Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 207, 2015.

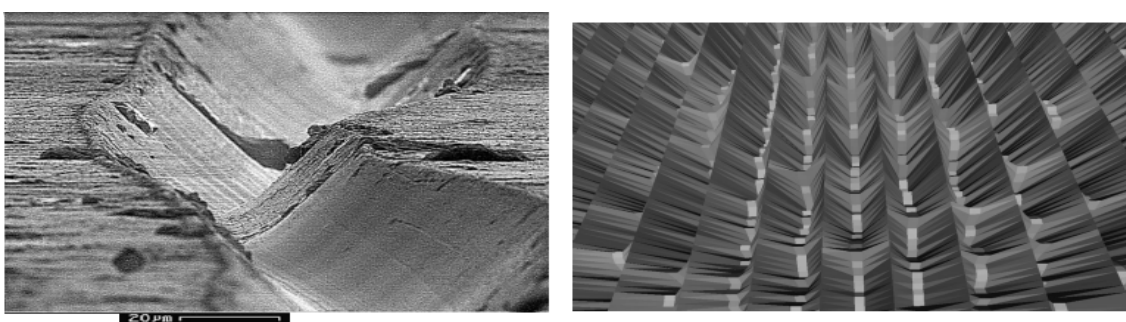
GUEDES, A. G. Estudo de ondas estacionárias em uma corda com a utilização de um aplicativo gratuito para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2015.

FÍSICA COM KRAUSE. Harmônicos em ondas estacionárias em uma corda tensa. Apresentação Experimental. Youtube, 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=nrs4RsYsChA>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

Mini lição disco de vinil

O disco de vinil foi por muito tempo uma mídia de áudio analógico, há ranhuras microscópicas em espiral por todo o disco. Assim, apesar de aparentar uma superfície lisa, o disco de vinil apresenta as ranhuras com o formato da onda sonora.

Figura – À esquerda a ranhura quando visto de microscópio (ampliação de mil vezes) e à direita representação das ranhuras no formato de onda.



Fonte: Amanda Ghassaei (2012)⁴¹.

A agulha de um toca disco oscila ao longo da ranhura verticalmente, no mesmo formato da onda e o sinal de áudio original é reconstruído. A atividade consiste em utilizar um disco de vinil inutilizado, um palito de churrasco, uma agulha e um suporte para o disco girar feito de uma haste e papelão será possível sentir a vibração do som (tutorial em vídeo⁴²).

O palito de churrasco será colocado firmemente entre os dentes de um voluntário com agulha encostando no disco. Ao girar o disco, a oscilação da agulha reproduzirá o áudio original do disco diretamente no crânio, com intensidade forte. Para melhores resultados utilize os protetores auriculares.

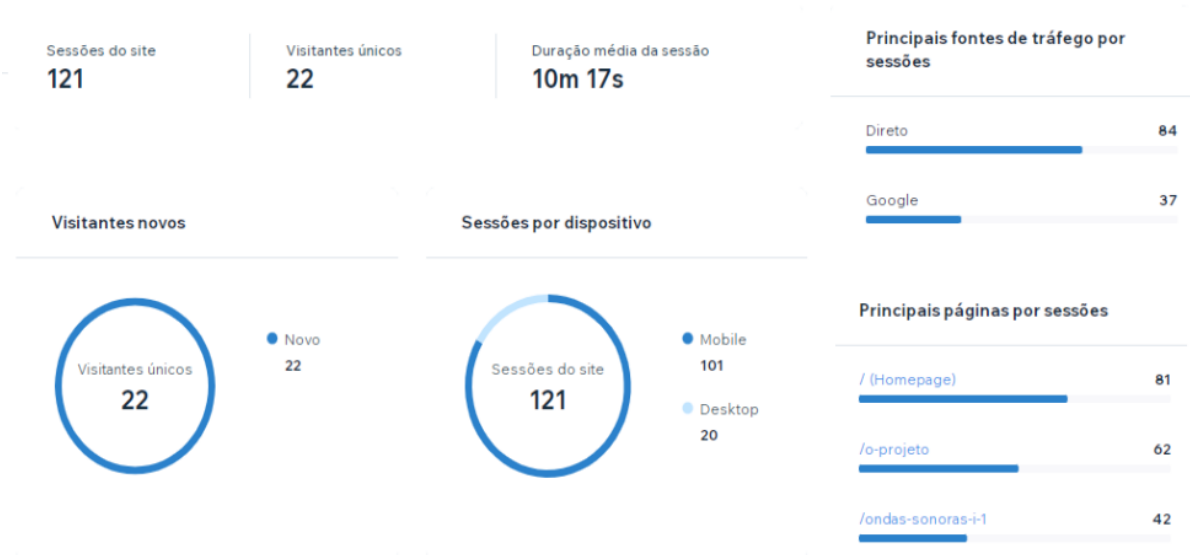
Ao aumentar a rotação do disco, a agulha vibra mais rápido e o efeito do som observado é um som cada vez mais alto, com uma frequência mais alta. Em contrapartida ao girar o disco mais lentamente, o som fica mais grave evidenciando que a frequência diminuiu (som mais baixo).

⁴¹ Disponível em: <http://www.instructables.com/id/3D-Printed-Record>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

⁴² Tutorial da montagem do experimento está disponível em: www.youtube.com/watch?v=PH5bjNpnABU. Acesso em: 15 de abril de 2020.

APÊNDICE C: DADOS DO TRÁFEGO DA SEÇÃO VOLTADA AO ALUNO.

Visão geral do tráfego



Data	Acessos diários	Duração média da sessão	Sessões do site visitadas
11-nov.	6	10	14
16-nov.	5	12	5
17-nov.	5	2	2
18-nov.	18	13	13
19-nov.	5	6	2
20-nov.	6	5	3
21-nov.	0	0	0
22-nov.	16	11	11
23-nov.	3	10	5
24-nov.	2	5	3
25-nov.	2	4	4
26-nov.	3	2	3
27-nov.	2	5	4
28-nov.	3	5	5
29-nov.	19	20	12
30-nov.	2	2	5
1-dez.	1	2	4
2-dez.	15	15	10
3-dez.	2	4	3
4-dez.	3	5	5
5-dez.	5	6	3
6-dez.	10	3	5

APÊNDICE D: PREENCHIMENTO DO QUADRO DE GERENCIAMENTO INTERNO DAS EQUIPES

Todas as alterações são salvas automaticamente à medida que você digita. Você e sua equipe podem usar o histórico de versões do documento caso queiram resgatar uma versão antiga, e até ver o nome de quem fez cada uma das alterações.

Grupo 1

O que faremos?	O que precisamos saber?	Quais as dificuldades que tivemos?	O que aprendemos durante as pesquisas?
<p>Um instrumento musical com materiais reciclados.</p> <p>Será feita uma mini bateria, precisamos de potes e embalagens vazias.</p> <p>Ler o texto de apoio do <i>site</i>.</p>	<p>O que é som?</p> <p>Como as vibrações no tambor forma o som.</p>	<p>Como simular um o som de prato da bateria.</p> <p>A mini bateria não fica em pé.</p>	<p>Que o som é uma onda sonora.</p> <p>Sons agudos tem frequência baixa (é um som alto) e sons graves têm frequência baixa (som baixo).</p> <p>A velocidade do som é de 340 m/s, assim a nota Lá com frequência de 220Hz tem comprimento de onda de $340:220=1,55$ metros.</p> <p>Tubos grandes, cordas compridas e</p>

			tambores maiores tem som mais grave!
<p>Outros pontos importantes: A mini bateria não tem afinação fixa, já que não há alturas definidas (frequências padrões para afinar). Vamos pedir pra o sor como podemos para afinar. Pelo o que entendemos, com a playlist de acústica, se a tampa for flexível, quanto mais esticada, mais agudo fica o som.</p>			

Grupo 2

O que faremos?	O que precisamos saber?	Quais as dificuldades que tivemos?	O que aprendemos durante as pesquisas?
Violão	Verificar como o som surge no violão.	<p>A webquest ondas sonoras foi trabalhosa.</p> <p>Mó preguiça para estudar para provas de fim de ano, ao menos as atividades do projeto estão legais.</p> <p>Como vamos prender as cordas.</p>	<p>Eu sabia que uma corda mais tracionada deixa o som mais fino.</p> <p>Aprendemos que um som mais fino, é um som alto, bem agudo. Neste caso o som tem frequência bem alta</p>
<p>Outros pontos importantes: Sor, não trocamos o braço do violão, por erro nosso. Ia ficar bem legal, mas no lugar vamos trazer o violão do ##### para a apresentação.</p>			

Grupo 3

O que faremos?	O que precisamos saber?	Quais as dificuldades que tivemos?	O que aprendemos durante as pesquisas?
Iremos construir um xilofone	Os materiais que iremos utilizar para a construção do nosso instrumento musical, os sons que ele produz/ ondas sonoras	Achar os materiais para a construção do instrumento e como afinar ele.	Alguns tipos de ondas sonoras e seus comprimentos de onda e frequência sonora. O som grave é aquele onde a frequência de onda é menor, sendo o comprimento de onda bem maior se comparado com sons mais agudos. Fizemos o cálculo e com 39 cm de coluna de ar, a garrafa ao soprar irá emitir uma nota Dó com frequência de 130,81Hz e comprimento de onda de 2,63 metros. Um dó mais agudo (uma oitava acima) é aquele que tem o dobro da frequência, uma frequência de 261,62 Hz e comprimento de onda de 1,315 metros

			(metade do anterior de 2,63 metros).
Outros pontos importantes:			

Grupo 4

O que faremos?	O que precisamos saber?	Quais as dificuldades que tivemos?	O que aprendemos durante as pesquisas?
<p>Tambores e uma flauta.</p> <p>Trazer um cordão e latas, procurar baquetas de madeira.</p> <p>Trazer para a aula um notebook.</p>	<p>Precisamos entender os conceitos de acústica</p>	<p>Gostei muito do projeto, em especial das webquests que deixou a gente sabendo de detalhes dos instrumentos musicais, mas a internet caiu algumas vezes no celular e no notebook.</p>	<p>Durante o projeto, nossa equipe aprendeu que o som é uma onda sonora. Uma onda sonora é uma perturbação nas moléculas que oscilam em um ponto de equilíbrio. Se a frequência de vibração for alta, o som é alto e ouvimos agudo. Caso a frequência for baixa, o som é baixo.</p>
Outros pontos importantes:			

APÊNDICE E: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

MNPEFUFRGS

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Senhores pais ou responsáveis

Gostaríamos de sua autorização para que o(a) aluno(a) sob sua responsabilidade participe da pesquisa de mestrado que está sendo desenvolvida no Polo 50 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – MNPEF/UFRGS, intitulada “Website voltado à implementação da Aprendizagem Baseada em Projetos: Hipermídias para a Aprendizagem Potencialmente Significativa de acústica”.

Esta pesquisa está sendo desenvolvida pelo Prof. Adrian Luiz Rizzo sob orientação do Prof. Dr. Terrimar Ignácio Pasqualetto e coorientação da Prof^a. Dr^a. Karen Cavalcanti Tauceda e envolve a construção e aplicação de um Produto Educacional para o Ensino de Física na Educação Básica. O mesmo foi qualificado junto ao MNPEF/UFRGS e consiste em uma sequência didática voltada ao ensino de temas de acústica.

Participarão desta pesquisa em torno de 20 estudantes do Colégio Estadual Farroupilha, que responderão questionários e construirão artefatos de acústica. São previstos em torno de oito aulas de 50 minutos entre os dias de 18 de outubro a 12 de dezembro.

Você pode se recusar a autorizar o adolescente a participar e o adolescente poderá desistir de participar a qualquer momento. No entanto solicitamos sua colaboração para que possamos obter melhores resultados da pesquisa. Para mais esclarecimentos, é possível entrar em contato diretamente pelo telefone #####.

Todas as informações coletadas são estritamente confidenciais e serão tratadas sem que haja identificação de particularidades dos adolescentes participantes. Os resultados obtidos na pesquisa irão compor uma dissertação de mestrado e possíveis publicações na literatura relacionada.

Ao participar desta pesquisa, o(a) adolescente sob sua responsabilidade pode não ter nenhum benefício direto; entretanto, esperamos que futuramente os resultados deste estudo sejam usados em seu benefício e de outras pessoas. Não haverá nenhum tipo de despesa ou qualquer remuneração pela participação.

Autorizo a participação do(a) aluno(a) _____, nos termos descritos acima.

Autorizo fotografias e gravação de voz.

Não autorizo fotografias e gravação de voz.

Farroupilha, ___ de _____ de 2021.

Responsável pelo(a) aluno(a)

Adrian Luiz Rizzo

Pesquisador