



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

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

UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE OS HARMÔNICOS DOS INSTRUMENTOS
MUSICAIS BASEADA NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Magdiel Jeronimo Pereira dos Santos

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

Orientador:
Prof. Dr. Carlos André de Carvalho Bosco

Recife
Novembro de 2023

UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE OS HARMÔNICOS DOS INSTRUMENTOS
MUSICAIS BASEADA NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Magdiel Jeronimo Pereira dos Santos

Orientador:
Prof. Dr. Carlos André de Carvalho Bosco

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

Aprovada por:

Prof. Dr. Carlos André de Carvalho Bosco
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Presidente

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

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Membro Titular Interno

Recife
Novembro de 2023

S586p Pereira dos Santos, Magdiel Jeronimo
Uma investigação sobre os harmônicos dos instrumentos
musicais baseada nos três momentos pedagógicos / Magdiel
Jerônimo Pereira dos Santos - Recife: UFRPE / IF, 2023.
viii, 77 f.: il.;30cm.
Orientador: Carlos André de Carvalho Bosco
Dissertação (mestrado) – UFRPE / Pró-Reitoria de Pós
Graduação /Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2023.
Referências Bibliográficas: f.____.
1. Ensino de Física. 2. Três momentos pedagógicos. 3.
Harmônicos sonoros. I. de Carvalho Bosco, Carlos André. II.
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Física. III. Uma investigação sobre os
harmônicos dos instrumentos musicais baseada nos três momentos
pedagógicos.

Agradecimentos

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

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

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

À minha família por todo apoio.

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

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”.

Paulo Freire

RESUMO

UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE OS HARMÔNICOS DOS INSTRUMENTOS MUSICAIS BASEADA NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Magdiel Jeronimo Pereira dos Santos

Orientador:

Prof. Dr. Carlos André de Carvalho Bosco

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

Nos últimos tempos, vários trabalhos foram elaborados com o objetivo de aprimorar o ensino de Física no Brasil. Ainda assim, a realidade do ensino da Física é burocrática no tocante às metodologias. Por vezes, são “instruções metodológicas” que produzem uma alfabetização do tipo bancária. Foi pensando em uma aprendizagem significativa que desenvolvemos este trabalho, seu intuito é contribuir na construção de aulas mais dinâmicas e integradoras, entre o conhecimento e a prática do estudante dentro do seu cotidiano, e assim tornar-se um guia metodológico para o professor do ensino básico. Motivado pela metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), a sequência didática foi desenvolvida com o objetivo de trabalhar a problematização inicial, através da percepção sonora e visual com uso de vídeos e aplicativos. Nessa sequência é apresentada a organização e aplicação do conhecimento proporcionado pela investigação científica na percepção e manipulação dos harmônicos produzidos por instrumentos musicais presentes no cotidiano dos estudantes e no estudo da Acústica. Nesta investigação, foi possível observar que em diversos momentos os estudantes demonstraram pensamento crítico, motivação, capacidade de abstração e curiosidade epistemológica, indicando que o objetivo da intervenção foi satisfatório, pois promoveu uma educação crítica.

Palavras-chave: Ensino de Física, Aprendizagem Significativa, 3MP, Acústica.

Recife
Novembro de 2023

ABSTRACT

APPROACH TO THE PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOUND THROUGH POTENTIALLY SIGNIFICANT TEACHING UNITS (PSTU)

Magdiel Jeronimo Pereira dos Santos

Supervisor:

Prof. Dr. Carlos André de Carvalho Bosco

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

In recent times, several works have been developed with the objective of improving the teaching of Physics in Brazil, even though the reality of teaching Physics is bureaucratic in terms of methodologies, sometimes they are “methodological instructions” that produce a banking type of literacy. We developed this work with a view to meaningful learning, its purpose is to contribute to the construction of more dynamic and inclusive classes, between knowledge and student practice within their daily lives, and thus become a methodological guide for the teaching teacher basic. Motivated by the methodology of the Three Pedagogical Moments (3MP), the didactic sequence was developed with the objective of working the initial problematization, through sound and visual perception using videos and applications. Next, the organization and application of knowledge provided by scientific research in the perception and manipulation of harmonics produced by musical instruments present in the students' daily lives and in the study of Acoustics is presented. In this investigation, it was possible to observe that at different times the students demonstrated critical thinking, motivation, capacity for abstraction and epistemological curiosity, indicating that the objective of the intervention was satisfactory, as it promoted a critical education.

Keywords: Physics Teaching, Meaningful Learning, 3MP, Acoustics

Recife
November 2023

Sumário

Capítulo 1 Introdução	10
Capítulo 2 Revisão de Literatura	15
Capítulo 3 Fundamentação Teórica	21
3.1 Aprendizagem Significativa	21
3.1.1 Condições para a Aprendizagem Significativa.....	22
3.1.2 Organizadores Prévios	23
3.1.3 Os Três Momentos Pedagógicos	24
3.1.3.1 Problematização inicial.....	26
3.1.3.2 Organização do Conhecimento.....	27
3.1.3.3 Aplicação do Conhecimento.....	28
3.2 Série de Fourier (Fundamentação física).....	30
3.2.1 Contribuições de Fourier	30
3.2.2 Aplicações e análise.....	32
3.2.3 Os coeficientes da série de Fourier	34
Capítulo 4 O Produto educacional.....	39
4.1 Metodologia utilizada na aplicação do produto.....	39
4.2 Aplicação do produto educacional	41
4.2.1 O primeiro Momento Pedagógico	41
4.2.2 O Segundo Momento Pedagógico	43
4.2.3 O Terceiro Momento Pedagógico.....	46
Capítulo 5 Resultados e Conclusão	58
Referências Bibliográficas.....	60
Apêndice A - O Produto Educacional	Erro! Indicador não definido.

Capítulo 1 Introdução

Quando o assunto é Ensino, estamos sempre pesquisando, avaliando e buscando melhorar nossa prática pedagógica. O Ensino no século XXI enfrenta desafios interessantes: a utilização de novas tecnologias em sala de aula; o crescente desinteresse dos alunos; a falta de base matemática ou de interpretação textual, a desvalorização do profissional de educação, etc. (FOUREZ, 2003). No ensino de Física, é importante provocar nos alunos o interesse em aprender, ou, conforme David Ausubel, sua disposição em aprender por meio do ato de planejar, aplicar e avaliar algumas sequências didáticas.

Essa proposta, de um ensino mediado por uma problematização, nos inquietou e provocou uma autorreflexão em relação ao que era ensinado e o que de fato se pretendia ensinar. Nesse período de doze (12) anos de docência, compartilhando e trocando experiências com colegas de profissão, percebi que o desafio de propor um ensino e uma aprendizagem movida pela percepção e espírito inquiridor dos alunos não era uma angústia particular.

Ao abrir um livro de física percebemos a enorme quantidade de questões em cada capítulo, obrigando ao professor a destinar boa parte de suas aulas a mera resolução de problemas, na sua maioria direcionando o aluno a um formalismo puramente matemático, de modo que a compreensão do mundo físico, através da percepção do estudante mediada por uma problematização, fica em segundo plano, até mesmo ignorada. Vale salientar que esse momento é o começo de uma aula enriquecedora e de uma aprendizagem significativa.

Nesta trajetória ficou evidente que o ensino mecanicista e tradicional corroborava para a manutenção de uma aprendizagem engessada, limitando qualquer possibilidade de mudança. Contudo, a cada ano sempre buscava utilizar nas aulas métodos diferentes, sempre que possível usava questionamentos e recursos experimentais presentes no cotidiano dos estudantes. Nos primeiros anos a atitude de levar para sala o que David Ausubel define como organizador prévio era muito intuitiva, hoje considero aquela atitude como um ato libertário, frente a uma estrutura engessada oferecida pelo livro “didático”.

Tenho a oportunidade de lecionar na mesma instituição, desde o início da minha carreira, o Educandário São Judas Tadeu (ESJT), o que de fato facilitou o meu

crescimento profissional e sempre ter a possibilidade de reavaliar-se mediante aos resultados alcançados a cada etapa. O compromisso com a comunidade escolar, que a instituição possui, nos permitiu buscar novas metodologias e nos garanti a possibilidade de mudanças.

Foi no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), que tive a oportunidade de perceber, profissionalmente, a importância de planejar a aula de acordo com a dinâmica de cada turma. Ficou nítido que os planejamentos realizado a cada ano eram voltados, quase exclusivamente, a livros didáticos.

Todas as disciplinas, ofertadas pelo MNPEF, foram de extrema importância nessa construção, cada uma com as suas estruturas e objetivos. Duas marcaram a minha trajetória e me proporcionaram respaldo para o desdobramento deste trabalho, são elas: a disciplina de Fundamentos Teóricos em Ensino Aprendizagem, lecionada na ocasião pelo professor Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior e a disciplina de Processos e Sequências de Ensino e Aprendizagem em Física no Ensino Médio, lecionada pelas professoras Dra. Ana Paula T. Bruno Silva e Dra. Énery Gislayne de Sousa Melo. Foi através das vivências e trocas de experiências com esses professores que percebi a importância de buscar novos caminhos.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) de Física mostram que o ensino precisa ser contextualizado, considerando a vida do aluno e priorizando conteúdos que ajudem a desenvolver autonomia e análise crítica. Assim, o objetivo do ensino médio é transformar os alunos em cidadãos, compreender o mundo ao seu redor e ser capaz de tomar decisões sobre o futuro (FREIRE, 2007).

Com isso em mente, é fundamental que o professor de física busque novas práticas educativas que incorporem aspectos sociais e culturais que são elementos muito importantes na formação do aluno. Em sua obra “Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa”, Freire afirma que (1996, p. 25), “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar possibilidades para a sua própria produção. Com isto, mais do que repassar conteúdo, o papel dos facilitadores é abrir caminhos”.

Dessa forma buscamos desenvolver uma sequência didática para suprir a necessidade de ter em sala de aula algo prático e eficiente no estudo do som e de suas características, pois a compreensão de um determinado tópico da física, quando acompanhado de um aparato experimental, torna-se muito mais fácil.

Sempre que o tema som era abordado em sala os alunos questionavam sobre a diversidade de sons emitidos por diversos instrumentos, mesmo emitindo a mesma nota

musical (mesma frequência). Foram essas descobertas e inquietações, compartilhadas pelos alunos nos momentos em que a aula era desenvolvida, que me motivaram a realizar este trabalho.

Participar do Grupo de Pesquisa em Educação Sonora da UFRPE, idealizado pelos professores Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior e Dr. Carlos André de Carvalho Bosco, me fez ampliar os horizontes na percepção do som. Foi através desse grupo que conheci as obras do educador musical canadense Raymond Murray Schafer, são elas: O Ouvido Pensante (UNESP, 2013, 2ª ed.) e A Afinação do Mundo (UNESP, 2001). Foram encontros extremamente valiosos para a concepção e a inclinação do tema desta pesquisa.

Nesta perspectiva, desenvolvemos um produto educacional para potencializar a aprendizagem ativa durante a investigação científica sobre harmônicos sonoros, sendo estes identificados através do uso de um osciloscópio virtual. Para tal experimento utilizamos a emissão de uma nota musical gerada por diferentes tipos de instrumentos musicais. Os objetivos pretendidos são:

- Fazer com que os alunos relacionem o estudo do conteúdo com situações reais que eles conhecem e presenciam.
- Aguçar explicações contraditórias e localizar as possíveis limitações do conhecimento através de uma atividade experimental.
- Compreender a problematização ou situação inicial, para que com isso sejam aprofundados definições, conceitos, relações e leis de acordo com o tema.
- Apresentar modelos gráficos, simuladores e softwares utilizados no estudo das ondas sonoras.
- Promover o diálogo entre os conceitos abordados e os fenômenos observados durante a problematização.

É importante lembrar que a BNCC reformulou o currículo no ensino básico, o objetivo a alcançar é desenvolver competências dos alunos em 10 áreas do conhecimento. As mudanças decorrentes da reformulação contribuíram com o enriquecimento do ensino da ciência do 6º ao 9º ano, dando aos alunos acesso a uma variedade de conteúdos de física. A abordagem teórica é essencial, mas é necessário a presença de experimentos como ferramenta de aprendizagem significativa, pois a vida cotidiana dos alunos é o maior campo de experimentação. Dessa forma é possível promover a compreensão do aluno e possibilitar o desenvolvimento de habilidades para o ensino médio e superior. As competências são a integração de um conjunto de

conhecimentos, habilidades e atitudes, e o papel do professor é avaliar o papel do aluno e fornecer um meio de facilitar a aprendizagem significativa.

Nos próximos capítulos apresentaremos o caminho de pesquisa e formação que percorremos no desenvolvimento, aplicação e avaliação da eficácia do produto educacional criado no programa de mestrado do polo 58-UFRPE do MNPEF. No capítulo dois será feito um panorama bibliográfico sobre o estudo do som destacando a percepção auditiva atrelada a visual, para isso foram utilizados como mecanismo de pesquisa os principais periódicos e encontros de ensino de ciências do Brasil. No capítulo três apresentaremos os fundamentos teóricos associados à aprendizagem significativa e aos três momentos pedagógicos, assim como os fundamentos físicos relacionados ao estudo dos harmônicos produzidos pelo som. No capítulo quatro serão apresentados o produto educacional e suas aplicações e, finalmente, no capítulo cinco apresentaremos os resultados da aplicação do produto educacional e a análise final da intervenção realizada.

Capítulo 2 Revisão de Literatura

As revisões bibliográficas realizadas para este estudo não pretenderam abranger todos os estudos publicados sob os indicadores investigados. Ou seja, eles não tentaram acompanhar a tecnologia mais recente sobre esses assuntos. Aqui, descreveremos apenas trabalhos que contribuíram efetivamente para o desenvolvimento da pesquisa, mas não influenciaram diretamente a pesquisa, sem desconsiderar o valor de outros trabalhos não referenciados. Os recortes criados para a revisão bibliográfica incluíram algumas das publicações mais famosas na área do ensino de física/ciências.

Os periódicos consultados se restringiram aqueles com Qualis/CAPES A e B e foram: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Experiências em Ensino de Ciências (EENCI), Física na Escola (FnE), Aprendizagem Significativa em Revista (ASR) e Investigação em Ensino de Ciências (IENCI). A consulta foi feita em cada página dos periódicos, inicialmente pelos títulos, a seguir resumos e palavras-chave. A pesquisa dos artigos foi feita com base em três indicadores: ensino de acústica, ensino de acústica por meio da história da ciência e ensino de acústica com a utilização de instrumentos musicais. A seleção dos artigos que impactaram na pesquisa está descrita por periódico e indicador (Tabela 1).

Periódicos	Ensino de Acústica	O Ensino de Acústica por meio da história da ciência	Utilização de instrumentos musicais no Ensino de Acústica
RBEF	02	00	01
CBEF	02	00	01
ENPEC	02	00	00
EENCI	02	00	01
FnE	01	00	02
ASR	00	00	00
IENCI	00	00	00
Total	09	00	05

Tabela 1. Publicações concernentes ao estudo do som.

Percebemos que o tema “Acústica” é bem presente nos periódico e anais relativos a física, porém trabalhos que busquem a abordagem metodológica do tema no

Ensino de Física é um tanto escasso. Isso mostra a importância de se produzir um trabalho com o compromisso na assimilação e compreensão dos estudantes, através de estratégias motivadoras. Com base na tabela, faremos uma breve descrição dos trabalhos encontrados e suas contribuições para o Ensino de Acústica.

Na Revista Brasileira de Ensino de Física encontramos três (03) artigos que descrevem a importância do ensino da Acústica. O trabalho “Demonstração e análise da interferência acústica utilizando um tubo de Quincke e a plataforma Arduino” de Sousa, Silva, Leite e Monteiro (2021) apresenta uma aplicação do clássico interferômetro acústico de Quincke, conhecido como “tubo de Quincke”. O aparato experimental apresentado neste artigo foi construído com objetivo de auxiliar os estudos de interferência sonora em intervenções didáticas, tendo em vista a limitada existência de recursos didáticos para o processo de ensino e aprendizagem envolvendo ondas mecânicas. O interferômetro acústico possibilita calcular o comprimento de onda de cada frequência de som utilizada no experimento e, a partir destas medidas, determinar com boa precisão a velocidade do som no ar. No artigo “A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdo de ondulatória, acústica e óptica” (MARTINS, VERDEAUX, SOUSA, 2009) propõe a utilização de diagramas conceituais no ensino da física, agregados às aulas expositivas, pretendendo promover a aprendizagem significativa do conteúdo tratado. Para tal foram elaborados “Diagramas de Referência”, fundamentados na estratégia dos mapas conceituais propostos por Joseph Novak. Apesar de não possuir seu objetivo centrado no ensino, o artigo “Espectro sonoro da flauta transversal” (DANTAS, SEGUNDO, SANTOS, 2015) é um potencial trabalho para um professor de física desenvolver uma intervenção em sala de aula. O trabalho em questão analisa o espectro sonoro de uma flauta transversal, identificando os harmônicos mais intensos na formação do timbre do instrumento para diversas notas musicais da escala diatônica e reproduz a forma da onda sonora resultante com base no espectro.

No Caderno Brasileiro de Ensino de Física foram encontrados três (03) trabalhos. No primeiro artigo, intitulado “O violão no ensino de acústica: uma proposta com enfoque histórico - epistemológico em uma unidade de ensino potencialmente significativa” (LIMA, DAMASIO, 2019) encontramos um trabalho pautado em três referenciais, são eles: Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (teórico educacional), a filosofia da ciência de Paul Feyerabend (teórico epistemológico) e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (metodológico). Utilizando o violão

como ferramenta didática dentro da noção de organizador prévio e da organização sequencial, foi proporcionado um ambiente que se pudesse promover a evolução conceitual, não só de ciência, mas também sobre ciência e de certa forma despertar uma pré-disposição em aprender. Outra questão bastante relevante abordada foi acerca do empreendimento científico, para isso foram usados episódios históricos da ciência. Neste segundo trabalho “Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros” (COELHO, MACHADO, 2014) verificamos a realização de uma oficina realizada com alunos do Curso de Física na qual se propôs a montagem de um móbile com tubos sonoros na investigação da caracterização de sons e abordagem dos princípios físicos compreendidos nos fenômenos acústicos. Também foi objetivo da pesquisa a comparação entre os sons emitidos pelo móbile e os de instrumentos musicais, além disso para as medições foram utilizados afinadores digitais e virtuais. Já no terceiro trabalho Sartori e Freitas (2020) propõe uma investigação em relação as atividades experimentais em sala de aula relacionadas à Física, sobre o tema “Estudo do Som”, por meio do que denominamos Proposições Orientadas de Problemas (POP). É analisado como alunos de um terceiro ano se apropriam e interagem com o processo de investigação e quais as relações empíricas são capazes de inferir. Verificou-se que o grupo de alunos realizou as POP de forma autônoma, colaborativa e criteriosa; evidenciando a capacidade de refletir criticamente sobre o processo e denotando um saber-fazer muito próximo ao que se esperaria de uma abordagem típica de investigações científicas, obtendo relações empíricas pertinentes às diversas situações enfrentadas.

Foram encontrados nos periódicos do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências a quantidade de dois (02) artigos. O primeiro, com o título “Levantamento de concepções e atitudes dos alunos em Acústica” (RODRIGUES, CAMILETTI, 2015) utiliza em uma intervenção didática o uso de um questionário Likert de cinco pontos (Discordo Muito, Discordo, Neutro, Concordo Muito, Concordo) para sondagem de concepções e de atitudes de um grupo de estudantes do ensino médio, afim de orientar a elaboração de um Material Instrucional em Acústica, que estimule uma intenção comportamental mais positiva em relação ao tópico. No segundo trabalho, Batista e Coimbra (2019) apresenta a elaboração de uma abordagem temática, segundo o movimento CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) para ensino de ondas e acústica, a elaboração foi principiada pela modelagem matemática série de Fourier (particularmente, somas de funções seno) dos timbres de alguns instrumentos musicais

usados no samba como violão, cavaquinho, pandeiro, repique de mão e cuíca. Em sequência é desenvolvida uma avaliação mediante as respostas de professores do Ensino Médio a um questionário, orientado via Google Form.

Encontramos nos periódicos da revista *Experiências em Ensino de Ciências* três (03) artigos voltados as experiências educacionais. No artigo “Uma experiência didática com aquisição automática de dados no laboratório de física do ensino médio” (SILVA, VEIT, 2006) é proposta uma intervenção com base em montagens experimentais nas quais o microcomputador é usado como instrumento de medida no laboratório didático de Física, as quais foram projetadas para serem desenvolvidas e aplicadas em sala de aula. A proposta é oportunizar os aluno do ensino médio a explorar, testar e discutir, a partir dos aparatos tecnológicos, os tópicos abordados como: sensores, medidas de tempo, ondas mecânicas transversais (em cordas) e longitudinais (sonoras). O segundo artigo “O ensino de acústica no ensino médio da rede pública por meio de instrumentos musicais de baixo custo” (MOREIRA, ROMEU, 2019) propõe um trabalho usando os conhecimentos musicais dos alunos como ponto de partida, buscando gerar uma relação entre o conhecimento científico e o cotidiano, além de criar uma predisposição para a aprendizagem. Fez parte da metodologia a aplicação de uma atividade prática, os alunos foram convidados a construir um instrumento musical rústico em sala de aula, servindo como motivação para o Ensino de Acústica. A intervenção aconteceu em duas turmas com alunos do 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública, e as suas participações nas atividades foram avaliadas após as aulas. Em uma turma a aula foi exclusivamente tradicional. E na outra, além da exposição do conteúdo, realizaram-se a prática experimental. As duas obtiveram bons resultados na avaliação escrita. Contudo, os alunos que participaram da aula prática demonstraram-se muito mais motivados, de acordo com o questionário de opinião. No terceiro artigo, Bôas e Filho (2019) apresentam uma proposta de aula experimental utilizando um tubo de garrafa pet, como opção de baixo custo, para a observação do fenômeno de ressonância em um tubo de Kundt. Usando como orientação no desenvolvimento a metodologia criada por Delizoicov e Angotti, objetiva-se promover a motivação necessária para que os alunos assimile os conteúdos pertinentes ao tema central Acústica.

Foram identificados na revista *Física na Escola* três (03) artigos. O primeiro artigo de título “O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo” (MOURA, NETO, 2011) propõe uma série de experiências para serem trabalhadas em sala de aula, com o intuito de facilitar o ensino de física,

promover a interdisciplinaridade e discutir a importância dos conhecimentos acústicos em alguns momentos históricos. Para esse propósito, são apresentadas e descritas as construções de alguns instrumentos musicais de baixo custo, para serem utilizados no ensino de acústica no Ensino Médio. Em seguida, são apresentadas sugestões para uso de cada construção no processo de ensino-aprendizagem. No segundo artigo, “A discreta dança do ar ao som das equações da física acústica” (MAGALHÃES, FILHO, 2018), a proposta é preencher uma lacuna dos livros de Ensino Médio acerca do assunto ondas sonoras, discutir algumas equações da física acústica e calcular as amplitudes de oscilação das moléculas de ar devido à propagação do som. Para assim proceder é utilizada uma sequência que faz o uso de aplicativos gratuitos que simula um decibelímetro e um gerador online de funções senoidais. Para essa proposta é necessário que os alunos possuam uma bagagem matemática em relação as funções senoidais. Krummenauer, Pasqualetto e Costa (2009) relatam neste artigo as atividades desenvolvidas em uma turma de ensino médio do Colégio Luterano Arthur Konrath, Estância Velha, RS. O objetivo da proposta apresentada é abordar conteúdos de física através de conceitos prévios dos educandos. Para a motivação esperada foram utilizados os instrumentos musicais no estudo da acústica, pois eles perceberam que a grande maioria dos educandos tinha contato com determinado tipo de instrumento. A abordagem metodológica se baseia na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, utilizando, sobretudo, os subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos estudantes.

Seguindo essa linha de pesquisa, desenvolvemos uma sequência didática para o estudo das características fisiológicas do som. No intuito de tornar o estudo do som mais ativo e significativo, utilizamos a metodologia dos três momentos pedagógicos (3MP) de Delizoikov. Iniciamos no primeiro (1º) momento, com a problematização fazendo um levantamento dos conceitos em questão, tomando como campo de pesquisa o cotidiano do aluno. No segundo (2º) momento, é vivenciada a organização do conhecimento com experimentos práticos, pontuando os conceitos sobre timbres e harmônicos relativos ao som e, no terceiro (3º) momento, temos a relação entre os dois primeiros, isto é, a aplicação do conhecimento adquirido com as situações avaliadas no cotidiano, procurando ampliar o espaço para a formação de estudantes mais críticos e alfabetizados cientificamente. A partir da pedagogia de Paulo Freire, foi desenvolvida a metodologia dos três momentos pedagógicos de Delizoikov e que tem como ideia central a educação problematizadora, possibilitando que os alunos assumam frente a situação uma postura ativa, sendo o mesmo o protagonista no ato contínuo de

manifestar inquietações, confrontar interpretações e proporcionar um entendimento coletivo, concebendo meios para a aprendizagem significativa do tema abordado.

Nesse sentido, no processo ensino aprendizagem, o professor e o aluno são indivíduos do conhecimento e personagens de um mesmo processo. O professor ensina e aprende e o aluno aprende e ensina.

“Só na medida em que o educando se torne sujeito cognoscente e se assuma como tal, tanto quanto sujeito cognoscente é também o professor, é possível ao educando tornar-se sujeito produtor da significação ou do conhecimento do objeto. É neste movimento dialético que ensinar e aprender vão se tornando conhecer e reconhecer. O educando vai conhecendo o ainda não conhecido e o educador reconhecendo, o antes sabido.” (FREIRE, 1993, p. 119)

Capítulo 3 Fundamentação Teórica

3.1 Aprendizagem Significativa

Segundo Moreira (2014, p.12), uma teoria da aprendizagem é: “uma construção humana para interpretar sistematicamente a área de conhecimento que chamamos aprendizagem” é um campo de estudo que busca entender como os seres humanos adquirem novos conhecimentos, habilidades, atitudes e comportamentos ao longo do tempo, concentram-se nos processos que ocorrem no aluno, não no professor.

Essas teorias podem ser divididas em três tipos: as cognitivas, as psicomotoras e as afetivas. As cognitivas são aquelas que tratam sobre a organização das informações armazenadas no cérebro sobre a estrutura cognitiva. As psicomotoras são desenvolvidas a partir de estímulos musculares de treino ou prática. As afetivas envolvem estímulos de sentimentos e emoções como: felicidade, euforia, tristeza, desânimo, entre outros. A teoria ausubeliana concentra-se principalmente na aprendizagem cognitiva, e entende que aprender significa organizar materiais e integrá-los em estruturas cognitivas.

Para David Ausubel¹, a aprendizagem significativa é a construção na qual novas informações se relacionam com aspectos particularmente relevantes da estrutura de conhecimento de um indivíduo. De modo que, essa construção é concebida quando há interação de novas informações com uma determinada estrutura de conhecimento, a qual é intrínseca a estrutura cognitiva do indivíduo.

O que resulta da interação entre o que vai ser aprendido e a estrutura cognitiva existente constitui o que Ausubel chama de assimilação. É o processo pelo qual ocorre a integração entre significados novos e antigos de modo a construir uma estrutura cognitiva mais organizada e diferenciada. A nova informação se vincula a aspectos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva e nesse processo se modificam tanto a informação recém adquirida como a estrutura cognitiva preexistente.

¹ David Paul Ausubel nasceu em 1918, em Nova Iorque. Frequentou as Universidades de Pennsylvania e Middlesex graduando-se em Psicologia e Medicina. Fez três residências em diferentes centros de Psiquiatria, doutorou-se em Psicologia do Desenvolvimento na Universidade de Columbia, onde foi professor por muitos anos no Teachers College. Foi professor também das Universidades de Illinois, Toronto, Berna, Munique e Salesiana de Roma. Ao aposentar-se voltou à Psiquiatria. Nos últimos anos de vida dedicou-se a escrever uma nova versão de sua obra básica Psicologia Educacional: uma visão cognitiva. Faleceu em 2008.

De acordo com Moreira, “É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não literal e não arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.” (MOREIRA, 2010, p. 2)

Em desacordo com a aprendizagem significativa, Ausubel define aprendizagem mecânica como “aprendizagem” de novas informações com pouca ou nenhuma interação com conceitos existentes na estrutura cognitiva de um indivíduo. Nessa perspectiva, as novas informações são guardadas de maneira literal e arbitrária e não há interação entre estas e as que ali já estavam armazenadas.

A aprendizagem não literal e não arbitrária refere-se a um tipo de conhecimento que vai além da simples memorização de fatos ou informações arbitrárias. Este tipo de aprendizagem envolve a compreensão profunda, a aplicação prática e a capacidade de fazer conexões significativas entre conceitos aparentemente distintos.

Ao contrário da aprendizagem literal, que se concentra na memorização de dados ou na repetição de informações sem uma compreensão mais ampla, a aprendizagem não literal busca entender o contexto e a lógica por trás do conhecimento. Ela permite a aplicação flexível desse conhecimento em diferentes situações, incentivando a capacidade de resolver problemas e criar soluções inovadoras.

Em resumo, a aprendizagem não literal e não arbitrária não se limita a simplesmente acumular informações, mas sim a compreender, contextualizar e aplicar o conhecimento de forma significativa e adaptável.

Porém, a distinção entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica não é dicotômica. Apesar de estarem em extremos opostos, não se deve pensar que a aprendizagem é essencialmente significativa ou mecânica. Há casos intermediários. É possível que uma aprendizagem inicialmente mecânica passe, progressivamente, à significativa.

3.1.1 Condições para a Aprendizagem Significativa

Para promover a aprendizagem significativa, o novo conhecimento deve ser relacionável de modo não-arbitrário e substantivo com o conhecimento prévio do aprendiz e este deve adotar uma atitude de aprendizagem para fazer essa relação. Logo, os materiais de aprendizagem têm um significado lógico (não arbitrário e não pode ser

literalmente atribuído a estruturas cognitivas apropriadas e relevantes). É fundamental considerar a predisposição em aprender do aluno.

O potencial do material depende de seu significado lógico (natureza lógica, "aprendizagem", relação com ideias apropriadas) e da disponibilidade de inclusões apropriadas na estrutura cognitiva do aluno. O conteúdo vivenciado pelo aluno na escola deve ser potencialmente significativo.

Sendo assim podemos considerar que se o aluno quiser dar sentido ao novo conhecimento, mas não tiver conhecimento prévio suficiente, ou se o material didático não tiver um significado lógico não haverá uma aprendizagem significativa. Ou seja, deve existir duas condições fundamentais para que haja a de aprendizagem significativa, primeiro a motivação do aluno e segundo o material precisa ser potencialmente significativo ao mesmo tempo.

Materiais introdutórios que explicitam a relação entre o novo conhecimento com aquele já existente, na estrutura cognitiva do aluno, são muito úteis para facilitar a aprendizagem significativa. Tais materiais podem ser considerados como organizadores prévios.

Vale ressaltar que a existência um elemento pré-existente na estrutura cognitiva do aluno chamado subsunçor é de extrema importância. Os subsunçores seriam as ideias prévias que o aluno já dispunha sobre o tema da aula em questão, a partir desse elemento fundamental é que as ideias posteriores seriam conectadas a estrutura cognitiva.

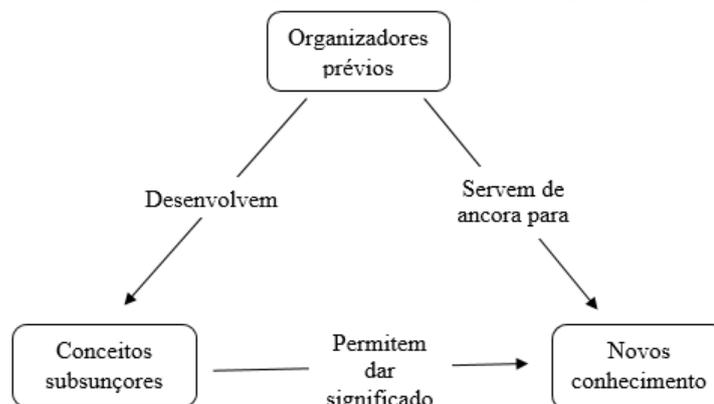
3.1.2 Organizadores Prévios

Ao se introduzir novos conceitos, o professor precisa garantir que o aluno tenha as informações básicas para apoiá-los. Se assim existirem, o professor terá seu trabalho relativamente facilitado, pois retomará um conhecimento relevante na construção do aluno que servirá de base para o novo conhecimento, os quais juntos – conhecimentos novos e prévios - poderão culminar em aprendizagem significativa. No entanto, sem conhecimento prévio, é essencial trazer um organizador prévio anterior para apresentar materiais para apoiar seu novo aprendizado.

Organizador prévio é o ponto de relação entre o que o sujeito já sabe e o que ele deveria saber a fim de que as novas informações possam ser aprendidas de forma significativa (MOREIRA, 2012 b, p.2).

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

Figura 1: Esquema da tríplice conexão na aprendizagem significativa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Caso o aluno não possua os subsunçores adequados para permitir que o novo conhecimento seja significativo, é necessária a utilização dos organizadores prévios. Esta é a solução proposta por Ausubel. Para Ausubel, a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que aprendiz já sabe e o que ele deveria saber a fim de que o novo material pudesse ser aprendido de forma significativa. Ou seja, organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como “pontes cognitivas”. (MOREIRA, 2012)

Organizadores Prévios são recursos educacionais apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusão em relação aos materiais de aprendizagem. Este é um material introdutório apresentado antes do conteúdo a ser desenvolvido, geralmente no mesmo nível de abstração, generalidade, escopo, e não um resumo que apresenta apenas aspectos específicos do assunto em estudo.

Exemplos de materiais utilizados como organizadores prévios são: textos introdutórios, imagens, música, filmes, simulações e muito mais. Existem muitas possibilidades, mas o mais importante é que eles sejam apresentados antes do material de aprendizagem para que assim alcance o objetivo esperado.

3.1.3 Os Três Momentos Pedagógicos

A criação de um “roteiro pedagógico” metodologia denominada de Três Momentos Pedagógicos, proposta por Delizoicov e Angotti (1990) e também

investigada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), surgiu durante o processo de formação de professores na região de Guiné-Bissau. Esta metodologia foi originalmente proposta como uma implementação da pedagogia da resolução de problemas a ser aplicada à formulação de um currículo de ciências.

Na construção curricular, Delizoicov e Angotti (1982) apontam para uma geração de temas consistentes com as visões educacionais freireanas.

A nosso ver, ela pode também ser aplicada a situações típicas de ensino que não envolvam a alfabetização de adultos, ou cursos de treinamento pós-alfabetização. O que fizemos foi uma tentativa de concretizá-la no âmbito da educação formal e no ensino de ciências. (ANGOTTI, 1982, p.28)

Na perspectiva metodológica pensada por Paulo Freire (1987), em contextos educacionais convencionais, os professores devem estabelecer conexões entre o que os alunos aprendem cientificamente em sala de aula e as realidades de suas vidas diárias.

Essa perspectiva dialógica é entendida por Moreira como: “estudar requer apropriação da significação dos conteúdos, a busca de relações entre os conteúdos e entre eles e aspectos históricos, sociais e culturais do conhecimento. Requer também que o educando se assume como sujeito do ato de estudar e adote uma postura crítica e sistemática” (2014, p.4). Em razão disso: “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar possibilidades para sua própria produção ou a sua construção” (Freire, 2005).

Pensado e criado como um meio facilitador para a aprendizagem, a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos foi fundamentada por Delizoicov e Angotti (1990) em três etapas, são elas: Problematização inicial, Organização do conhecimento e Aplicação do conhecimento. Discorreremos sobre esses três aspectos importantes na concepção do produto em questão

Figura 2: Os três momentos pedagógicos



Fonte: <https://images.app.goo.gl/o7q4FCdzkgbKSfNr6>

3.1.3.1 Problematização inicial

Delizoicov e Angotti (1990a) relatam que, na problematização, são apresentadas questões e/ou situações para o debate com os alunos. Com relação à objetividade do Primeiro Momento, destacam que:

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

É nesse momento que os alunos são desafiados a socializar o que pensam sobre determinadas situações, assim sendo o professor tem a oportunidade de conhecer e registrar o que eles pensam. Para os autores, o intuito desse ensejo é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se deparar com as interpretações das situações propostas, e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não possuem.

Nesse primeiro momento, Freire (2009) afirma que: “É preciso criticar a curiosidade ingênua, para que esta vá se aproximando, de forma cada vez mais metodicamente rigorosa, do objeto cognoscível para se tornar uma curiosidade epistemológica. E, exercitar a curiosidade é construir campos férteis à germinação da imaginação, da intuição, da capacidade de conjecturar e de comparar. E, sem dúvidas, são saberes fundamentais à prática educativa”.

Em outras palavras, é na problematização que se objetiva revelar explicações contraditórias e pontuar as possíveis limitações do conhecimento que vem sendo expressado, quando este é cotejado com o conhecimento científico que já foi selecionado para ser abordado (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002, p. 201). Logo, esse primeiro momento é caracterizado pela compreensão e assimilação dos alunos diante ao tema. É esperado ainda, que a atitude do professor se volte mais para questionar e lançar dúvidas sobre o assunto que para responder e fornecer explicações.

3.1.3.2 Organização do Conhecimento

Nesse momento, sob a orientação do professor, os conhecimentos científicos necessários para a compreensão do tema problematizado são estudados (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014). Durante esse processo, o professor possui uma postura mais ativa, ao invés de oferecer respostas prontas media a construção de novos conhecimentos, possibilitando a descoberta de caminhos e possibilidades, para que juntamente com os alunos, possa organizar tais conhecimentos, como mostra os autores Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002, p. 201):

Os conhecimentos selecionados como necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são sistematicamente estudados neste momento, sob a orientação do professor [...] de modo que o professor possa desenvolver a conceituação identificada como fundamental para a compreensão científica das situações problematizadas.

Dessa forma, é nesse instante que deve ocorrer à análise crítica dos conhecimentos estabelecidos no senso comum, de modo que os alunos superem as visões ingênuas de mundo manifestadas, promovendo olhares mais críticos para interpretar e assimilar a Ciência, envolvida no fenômeno estudado.

Muenchen (2010) pontua que o aprofundamento de definições, conceitos, relações e leis devem acontecer nesse momento pedagógico. Contudo, é notório que a proposta original dos 3 MPs valoriza a pluralidade e quantidade de noções, conceitos e informações em oposição à uma formação tecnicista. Portanto, a etapa de organização do conhecimento é um momento em que mais vôos devem ser feitos no sentido de facilitar o desenvolvimento de todos os comportamentos de aprendizagem necessários para a leitura de mundo, além dos esquemas conceituais.

É notório que o foco central dos 3 MPs gire em torno de um tema central, porém vale a ressalva de que a construção de conteúdos não pode ser desconsiderada, uma vez que sua omissão descaracteriza o próprio ato de ensinar, como afirma Sacristán e Gómes (1998, p.120), ou seja,

Sem conteúdo, não há ensino [...] sem formalizar os problemas relativos aos conteúdos não existe discurso rigoroso nem científico sobre o ensino, porque estaríamos falando de uma atividade vazia ou com significado à margem do para que serve.

É o que reitera Delizoicov e Angotti (1990, p. 29) ao afirmar que os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema e da problematização inicial devem ser sistematicamente estudados sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações, leis, apresentadas no texto introdutório, deverão ser aprofundados.

De acordo com Albuquerque, Santos e Ferreira (2015, p. 467) esse é o momento em que os conhecimentos científicos passam a ser incorporados nas discussões. Os alunos começam a desenvolver uma compreensão a respeito da problematização ou situação inicial. Entretanto, para que isso ocorra, materiais devem ser consultados e atividades devem ser sugeridas para complementar as discussões, no sentido de incentivar e melhorar a sistematização dos conhecimentos.

Delizoicov e Angotti (1990), ligados a perspectiva, destacam a importância da diversificação de atividades, com as quais o professor poderá trabalhar para um melhor rendimento na organização da aprendizagem. Sugerem exposições, pelo professor, de definições e propriedades, além de formulações de questões (exercícios de fixação como dos livros didáticos), textos e experiências. Fazendo uso da tecnologia que está ao nosso alcance, poderíamos acrescentar as mídias tecnológicas, como televisão, vídeos, filmes, músicas, programas tecnológicos, aplicativos de celulares, simulações, entre outros.

3.1.3.3 Aplicação do Conhecimento

De acordo com os autores dos 3 MPs, o objetivo dessa etapa é:

“[...] abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo como outras situações que, embora não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. [...] A meta pretendida como este momento é muito mais a de capacitar os alunos ao emprego dos conhecimentos, no intuito de formá-los para que articulem, constante e rotineiramente, a conceituação científica com situações reais, do que simplesmente encontrar uma solução, ao empregar algoritmos matemáticos que relacionam grandezas ou resolver qualquer outro problema típico dos livros-textos” (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 202).

Ela aborda sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento. (Delizoicov e Angotti, 1990, p. 31).

É de suma importância que ao planejar e executar esse momento, o professor retome as questões problematizadas inicialmente, criando, assim, a possibilidade de constatar se os alunos conseguiram assimilar os conhecimentos construídos na segunda etapa dos 3 MPs. Vale destacar que poderão surgir “novas” situações que por sua vez não estarão ligadas à Problematização Inicial, possibilitando o surgimento de “[...] novos questionamentos, novas possibilidades de interpretar e (re) criar a realidade, além de desconstruir a visão ingênua da mesma” (LYRA, 2013, p. 46).

Este é o momento importante para que os alunos encontrem relações entre os temas abordados, não apenas através dos conceitos, mas também de fenômenos que possam ter alguma conexão com as informações apresentadas. No entanto, o professor mantém a postura problematizadora, podendo trazer questionamentos que não foram levantados pelos alunos, como informações e problemas que surgiram do decorrer dos momentos. Além disso, este é uma boa oportunidade para o professor formalizar alguns conceitos que não foram aprofundados pelos alunos. (Albuquerque, Santos e Ferreira, 2015).

É importante destacar que a diversidade de estratégias concernentes a esta ocasião se faz necessária, para assim haver uma ruptura com as tradicionais atividades de exercícios de fixação e resolução de problemas fechados, uma vez que a abrangência destes é limitada, no que diz respeito às reflexões críticas, resumindo-se, na maioria das vezes, em memorização e reprodução de conceitos, dificultando assim a aprendizagem dos conteúdos.

Vale ainda a ressalva de que esse não é a única circunstância destinada a avaliação, pois concordamos com Zabala (2010, p. 199), a avaliação é “[...] processo formador de desenvolvimento de todas as capacidades da pessoa, desde a cognitiva até as procedimentais e atitudinais [...] de autonomia pessoal, de relação interpessoal e de inserção social”, e não como uma fase final de constatação do desempenho quantitativo no aluno. Assim sendo, a Aplicação do Conhecimento não pode ser confundida com a avaliação, em concordância com Muenchen (2010) onde afirma que a avaliação processual e não classificatória deve ser pensada para todos os MPs, iniciando pelo diagnóstico feito com a Problematização Inicial.

Nessa etapa, espera-se que as atividades propostas favoreçam o diálogo, dessa forma é possível perceber se o aluno adquiriu a capacidade de argumentar e de participar, de forma crítica, das decisões que envolvem os temas/problemas contemporâneos (MUENCHEN, 2010). Outro aspecto a ser identificado é se os

estudantes consideram questões para além das científicas, como as dimensões sociais, ambientais, econômicas, políticas, culturais, entre outras, de um dado objeto de estudo, que na contemporaneidade se apresenta complexo.

Finalmente, concordo com a colocação de Muenchen (2010) para esse MP, a qual afirma que devemos possibilitar aos alunos, “dinâmica e evolutivamente” a compreensão de que o conhecimento, além de ser uma construção historicamente determinada, não representa uma verdade inquestionável e está acessível para qualquer cidadão e, por isso, deve ser apreendido.

3.2 Série de Fourier (Fundamentação física)

3.2.1 Contribuições de Fourier

Jean Baptiste Joseph Fourier foi um matemático e físico francês nascido em 21 de março de 1768, em Auxerre, França, e faleceu em 16 de maio de 1830, em Paris. Ele estudou no Collège Mazarin, em Paris, e se destacou em matemática desde cedo. Durante a Revolução Francesa foi preso por suas opiniões políticas, mas foi liberado após a queda de Robespierre em 1794. Após sua libertação, Fourier continuou seus estudos e pesquisas matemáticas.

Uma das principais realizações de Fourier foi o desenvolvimento da série de Fourier, que é uma técnica matemática para expressar uma função periódica como uma soma de funções trigonométricas seno e cosseno. Essa série permitiu a decomposição de funções complexas em componentes mais simples e foi um avanço fundamental na análise matemática.

Fourier desenvolveu sua teoria da condução de calor baseando-se em sua série de Fourier, que descreve a decomposição de funções periódicas em uma soma de funções senoidais simples. Ele aplicou essa teoria à equação do calor, sugerindo que qualquer distribuição de temperatura poderia ser expressa como uma série infinita de senos e cossenos.

Entretanto, quando comparou suas previsões teóricas com os experimentos realizados, especialmente com relação à condução do calor, houve discrepâncias entre os resultados teóricos e os observados na prática. Por exemplo, em determinados experimentos de condução de calor, a teoria de Fourier não conseguia explicar completamente certos aspectos, como a taxa de resfriamento de certos materiais ou as variações extremas de temperatura.

A discordância inicial entre a teoria de Fourier e as observações experimentais levou a debates e críticas na comunidade científica da época. No entanto, com o avanço da ciência e o refinamento dos métodos experimentais, tornou-se evidente que certas condições e variáveis não haviam sido consideradas adequadamente na formulação inicial de Fourier.

Com o tempo, à medida que a compreensão sobre os processos físicos envolvidos na condução de calor se aprofundou e as técnicas experimentais foram refinadas, a teoria de Fourier foi revisada e complementada. Novos conceitos, como os efeitos de condução térmica em diferentes materiais e a consideração de limitações em condições de contorno específicas, foram incorporados à teoria, permitindo uma melhor concordância entre os resultados teóricos e experimentais.

Assim, embora inicialmente tenha havido discrepâncias entre a teoria de Fourier e as observações experimentais sobre calor, o refinamento da teoria e o desenvolvimento de experimentos mais precisos e abrangentes ao longo do tempo ajudaram a resolver muitas das divergências iniciais, fortalecendo a aceitação e aplicação da teoria de Fourier na compreensão dos processos de condução de calor.

Além disso, Fourier fez contribuições importantes na teoria das equações diferenciais parciais, transformadas integrais e equações diferenciais lineares. Seu trabalho influenciou várias áreas da matemática e da física e estabeleceu as bases para a análise harmônica e a transformada de Fourier, que são amplamente utilizadas em muitos campos científicos.

Um exemplo interessante é o das cordas vibrantes, fenômeno físico fascinante que pode ser compreendido e explicado através de princípios fundamentais da física, incluindo a segunda lei de Newton e as equações diferenciais.

Quando uma corda é tensionada e, em seguida, perturbada (por exemplo, ao ser tocada em um instrumento musical), ela entra em vibração. Esse movimento de vibração cria ondas ao longo da corda, gerando um padrão de oscilação que determina a produção de som.

A segunda lei de Newton, uma das leis fundamentais da mecânica, desempenha um papel crucial na compreensão do movimento das cordas vibrantes. A lei afirma que a força resultante exercida sobre um objeto é diretamente proporcional à taxa de variação do momento linear do objeto, e ocorre na direção da variação do momento. No caso das cordas vibrantes, a aplicação da segunda lei de Newton permite compreender como a tensão na corda e a aceleração das partículas que a compõem estão relacionadas.

Para modelar matematicamente as vibrações de uma corda, são utilizadas equações diferenciais parciais que descrevem a relação entre a posição, a velocidade e a aceleração das diferentes partes da corda em função do tempo e do espaço. As equações diferenciais são fundamentais para resolver problemas dinâmicos como o comportamento vibratório das cordas, permitindo prever a forma das ondas que se propagam ao longo delas.

Os físicos e matemáticos desenvolveram equações diferenciais que descrevem as ondas em cordas vibrantes. Por exemplo, a equação da onda unidimensional descreve como uma perturbação se propaga em uma corda, levando em consideração a velocidade de propagação e as condições iniciais da onda.

Além disso, a análise matemática dessas equações diferenciais permite compreender diversos aspectos do comportamento das ondas, como a formação de harmônicos, os nós e ventres das ondas estacionárias e a relação entre a tensão, densidade linear e a velocidade das ondas na corda.

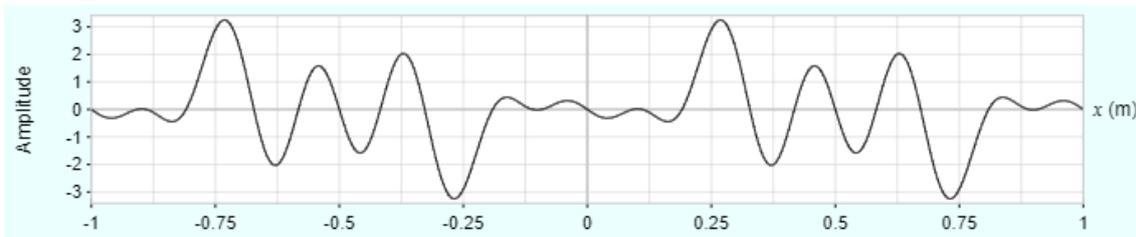
Portanto, as cordas vibrantes representam um excelente exemplo de como os princípios fundamentais da física, como a segunda lei de Newton, juntamente com o poder das equações diferenciais, são essenciais para compreender e descrever fenômenos naturais complexos, possibilitando tanto a criação de instrumentos musicais quanto o avanço do conhecimento em física teórica e aplicada.

Jean Baptiste Joseph Fourier foi um cientista prolífico e respeitado em sua época. Ele foi membro da Academia Francesa de Ciências e ocupou o cargo de secretário da Comissão de Pesos e Medidas da França. Seu trabalho teve um impacto duradouro e continua a ser estudado e aplicado até os dias de hoje. Fourier é considerado um dos grandes matemáticos e físicos do século XIX.

3.2.2 Aplicações e análise

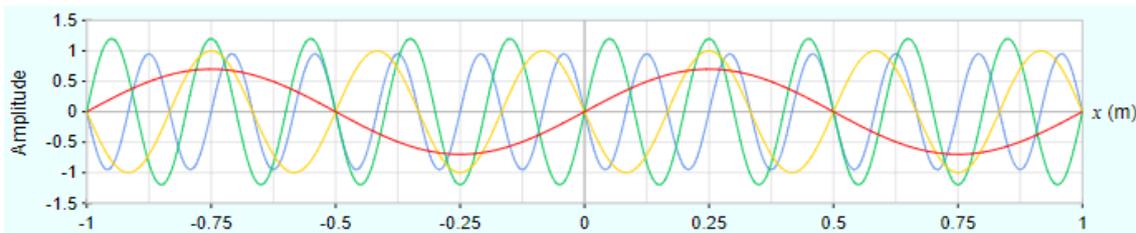
A série de Fourier é uma técnica matemática que permite decompor uma função periódica, a exemplo de uma nota musical (Figura 3) em uma série de funções trigonométricas (Figura 4). Essa decomposição é amplamente utilizada na área da música para análise e síntese de sinais musicais.

Figura 3: Gráfico de uma função periódica



Fonte: phet.colorado.edu

Figura 4: funções trigonométricas



Fonte: phet.colorado.edu

A série de Fourier é aplicada na música de diversas maneiras, incluindo:

1. Análise espectral: A série de Fourier pode ser usada para analisar o espectro de frequências de um sinal musical. Ao decompor um sinal em suas componentes senoidais, é possível identificar as diferentes frequências presentes na música e sua intensidade relativa. Isso é especialmente útil na análise de timbre e na identificação de harmônicos e sobretons em um som.
2. Síntese sonora: A série de Fourier também pode ser usada para sintetizar sons. Ao combinar diferentes componentes senoidais em suas frequências corretas e amplitudes apropriadas, é possível gerar sons complexos que se assemelham a instrumentos musicais reais. A síntese aditiva e a síntese subtrativa são exemplos de técnicas que usam a série de Fourier para gerar sons.
3. Compressão de áudio: A série de Fourier desempenha um papel importante na compressão de áudio. Por meio da análise espectral, é possível identificar as componentes de frequência mais importantes em um sinal musical e descartar informações desnecessárias. Isso permite reduzir o tamanho do arquivo de áudio sem uma perda significativa na qualidade percebida.
4. Efeitos sonoros: A série de Fourier também é usada para criar efeitos sonoros em música. Ao manipular as amplitudes e frequências das componentes senoidais, é possível criar efeitos como reverberação, eco, modulação de frequência, distorção, entre outros.

Em resumo, a série de Fourier é uma ferramenta matemática poderosa que é amplamente aplicada na música para análise, síntese, compressão e criação de efeitos sonoros. Ela nos permite compreender e manipular os aspectos espectrais dos sinais musicais, enriquecendo a experiência auditiva.

Vale salientar que o timbre dos instrumentos musicais é composto pela nota fundamental mais os harmônicos. Ou seja, se um som tem um período definido, ele possuirá uma frequência fundamental, que é o menor comprimento de onda, juntamente com outras ondas envolvidas chamados harmônicos ou parciais harmônicos, estes múltiplos da frequência fundamental (RODRIGUES, 2009).

Para um instrumento de corda o som produzido pelo movimento de uma corda é composto por uma determinada quantidade de harmônicos. A intensidade relativa dos harmônicos pode ser diferente no ar do que na corda, em particular se a corda estiver “acoplada” ao ar via uma caixa de ressonância.

3.2.3 Os coeficientes da série de Fourier

Digamos que uma função $f(t)$ represente a pressão do ar em função do tempo para um tom musical, então esperamos que $f(t)$ possa ser escrito como a soma de um número de funções harmônicas simples do tempo, como $\cos(\omega t)$. Se o período de vibração for T , a frequência angular fundamental será $\omega = 2\pi/T$ e os harmônicos serão 2ω , 3ω , etc.

Porém para cada frequência pode acontecer das fases iniciais não serem necessariamente as mesmas para todas as frequências. Dessa forma deveríamos, então, utilizar funções como $\cos(\omega t + \phi)$ ao invés de $\cos(\omega t)$ apenas. No entanto, é mais simples utilizar as funções seno como cosseno para cada frequência. Lembrando que:

$$\cos(\omega t + \phi) = [\cos\phi \cos(\omega t) - \sin\phi \sin(\omega t)] \quad (1)$$

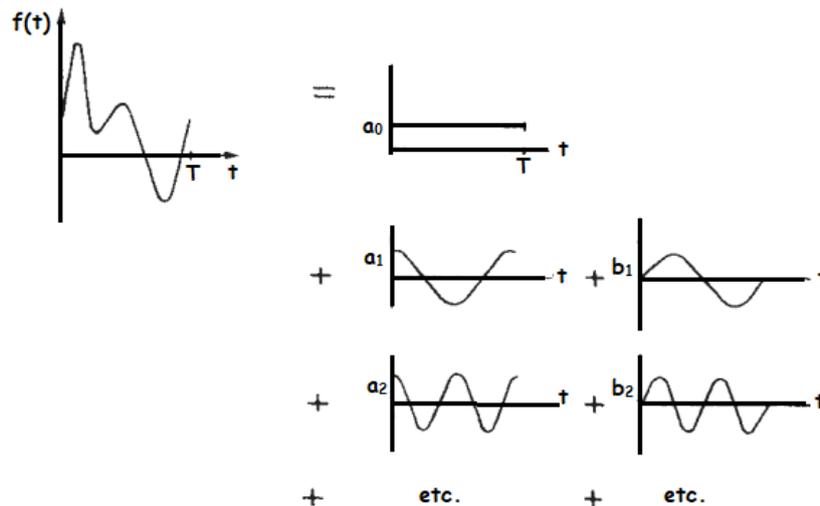
A oscilação senoidal pode ser escrita como a soma de um termo com $\cos(\omega t)$ e outro termo com o $\sin(\omega t)$, onde ϕ é uma constante,

Assim sendo a função $f(t)$ periódica com período T pode ser escrita matematicamente como

$$\begin{aligned} f(t) = & a_0 \\ & + a_1 \cos(\omega t) + b_1 \sin(\omega t) \\ & + a_2 \cos(2\omega t) + b_2 \sin(2\omega t) \\ & + a_3 \cos(3\omega t) + b_3 \sin(3\omega t) \end{aligned} \quad (2)$$

onde as constantes a_1, a_2, a_3, b_1, b_2 e b_3 nos dizem quanto de cada componente de oscilação está presente na Eq. 2. O termo a_0 foi adicionado para que haja a generalização da equação, embora ele seja normalmente zero para um tom musical, isto é o nível “zero” da pressão sonora. A Eq. (2) é representada esquematicamente na Figura 5.

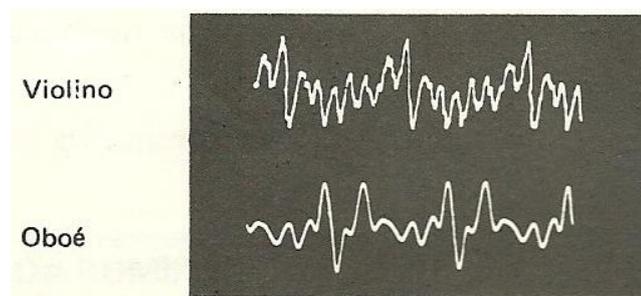
Figura 5: Gráfico correspondente a Eq. 2



Fonte: Livro Lições de Física de Feynman - Volume 1

O que define a qualidade de um som é a quantidade relativa dos vários harmônicos e os valores dos a 's e b 's. Dizemos que um som com apenas o primeiro harmônico é um som “puro”. Um som com muitos harmônicos fortes é um som “complexo”. Devido a essa diversidade de harmônicos e a intensidade de cada um, ainda assim é possível perceber a diferença entre um violino e um oboé. Embora produzam em seus timbres muitos harmônicos, ou seja frequências múltiplas que se formam a partir de uma fundamental, somando múltiplos inteiros, é possível observar na figura 6 um complexo espectro de frequências.

Figura 6: Forma de onda de um violino e um oboé tocando a nota lá em 440Hz



Fonte: fascículo de Teoria Musical da Open University

De forma genérica, qualquer onda sonora, ou qualquer função que encontramos na física, pode ser compostas por determinada soma de cossenos e senos multiplicados por um coeficiente.

Como podemos descobrir a quantidade necessária para cada harmônico? Uma vez que as amplitudes de certos harmônicos são diferentes com relação aos outros. É fácil calcular $f(t)$, usando a Eq. (2), se todos os coeficientes a e b forem dados. A pergunta é, uma vez conhecida $f(t)$ como podemos determinar os coeficientes?

Fourier constatou que de fato não era muito difícil. O termo a_0 é seguramente fácil, ele é justamente o valor médio de $f(t)$ sobre um período (de $t = 0$ até $t = T$). O valor médio de uma função seno ou cosseno sobre um período é zero. Sobre dois, ou três, ou qualquer número inteiro de períodos, também é zero. Conseqüentemente, o valor médio de todos dos termos do lado direito da Eq. (2) é zero, exceto para a_0 . (Lembre-se que devemos escolher $\omega = 2\pi/T$.)

Contudo a média de uma soma é a soma das médias. Sendo assim a média de $f(t)$ é justamente a média de a_0 . No entanto a_0 é uma constante, portanto a sua média é justamente o mesmo que seu valor. Recordando a definição de média, temos

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt. \quad (3)$$

Os demais coeficientes são só um tanto mais complicados de se obter. Para tal podemos usar um truque descoberto por Fourier. Suponha que multiplicamos ambos os lados da Eq. (2) por alguma função harmônica, exemplo o $\cos(7\omega t)$. Temos então

$$\begin{aligned} f(t) \cdot \cos(7\omega t) &= a_0 \cdot \cos(7\omega t) \\ &+ a_1 \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(7\omega t) + b_1 \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot \cos(7\omega t) \\ &+ a_2 \cdot \cos(2\omega t) \cdot \cos(7\omega t) + b_2 \cdot \text{sen}(2\omega t) \cdot \cos(7\omega t) \\ &+ \dots \qquad \qquad \qquad + \dots \\ &+ a_7 \cdot \cos(7\omega t) \cdot \cos(7\omega t) + b_7 \cdot \text{sen}(7\omega t) \cdot \cos(7\omega t) \\ &+ \dots \qquad \qquad \qquad + \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Em seguida vamos calcular a média de ambos os lados. A média de $a_0 \cos(7\omega t)$ no tempo T é proporcional à média de cosseno sobre 7 períodos inteiros. Mas isso é justamente zero. A média de quase todos os termos restantes também é zero. Vamos considerar o termo a_1 . Sabemos, em geral, que

$$\cos(A) \cos(B) = \frac{1}{2} \cos(A + B) + \frac{1}{2} \cos(A - B). \quad (5)$$

O termo a_1 se torna

$$\frac{1}{2} a_1 [\cos(8\omega t) + \cos(6\omega t)]. \quad (6)$$

Dessa forma temos dois termos cosseno, um com 8 períodos inteiros em T e outro com 6. A média de ambos é zero. A média do termo a_1 é, portanto, zero.

Para o termo a_2 , encontraríamos $a_2 \cos(9\omega t)$ e $a_2 \cos(5\omega t)$, cuja média de cada um também é zero. Para o termo a_9 , teríamos $\cos(16\omega t)$ e $\cos(-2\omega t)$. Mas $\cos(-2\omega t)$ é o mesmo que $\cos(2\omega t)$, portanto ambos têm médias zero. É claro que todos os termos a terão média nula exceto um. E esse é o termo a_7 . Para o qual temos

$$\frac{1}{2} a_7 [\cos(14\omega t) + \cos(0)]. \quad (7)$$

O cosseno de zero é um e sua média é um. Logo temos o resultado que a média de todos os termos da Eq. (4) é igual a $1/2a_7$.

Definir os termos b são ainda mais fáceis. Quando multiplicamos por qualquer termo de cosseno como $\cos(n\omega t)$, podemos verificar pelo mesmo método que todos os termos b têm média zero.

Concluimos que o “truque” de Fourier funcionou como uma peneira. Quando multiplicamos por $\cos(7\omega t)$ e fizemos a média, todos os termos desapareceram exceto a_7 , e encontramos que

$$\text{média } [f(t) \cdot \cos(7\omega t)] = a_7/2, \quad (8)$$

ou

$$a_7 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos(7\omega t) dt. \quad (9)$$

O coeficiente b_7 pode ser obtido multiplicando-se a Eq. (2) por $\sin(7\omega t)$ e calculando a média de ambos os lados. O resultado é

$$b_7 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(7\omega t) dt. \quad (10)$$

Confiamos que aquilo que é verdadeiro para 7 seja também verdadeiro para qualquer número inteiro. Assim, podemos resumir a nossa prova na seguinte forma

matemática mais elegante. Se m e n são números inteiros distintos de zero, e se $\omega = 2\pi/T$, então

$$\text{I. } \int_0^T \text{sen}(n\omega t)\text{cos}(m\omega t)dt = 0. \quad (11)$$

$$\text{II. } \int_0^T \text{cos}(n\omega t)\text{cos}(m\omega t)dt =$$

$$\text{III. } \int_0^T \text{sen}(n\omega t)\text{sen}(m\omega t)dt =$$

$$\text{IV. } f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{cos}(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{sen}(n\omega t). \quad (13)$$

$$\text{V. } a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cdot dt. \quad (14)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \text{cos}(n\omega t)dt. \quad (15)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \text{sen}(n\omega t)dt. \quad (16)$$

Podemos perceber que Fourier não precisou de muitas hipóteses para encontrar os coeficientes da série da função $f(t): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ de período T . É importante destacar que $f(t)$ precisar ser integrável e absolutamente integrável no intervalo $[0, T]$. Se $f(t)$ atender essas condições, conseguimos obter seus coeficientes e expressar a série de Fourier desta função.

Capítulo 4 O Produto educacional

O produto foi aplicado no mês de maio de 2022, em uma turma de 2º ano do ensino médio da escola Educandário São Judas Tadeu, rede privada, localizada na Rua Pedro de Paula Rocha, no município de Camaragibe/PE. Por ser um ano de retorno as aulas presenciais, pensamos uma aplicação remota, todavia foi possível realizar uma intervenção presencial. No momento da aplicação do produto educacional os alunos já possuíam o conhecimento básico sobre os conceitos de ondulatória e funções, utilizada na ocasião.

As atividades foram realizadas com um grupo de 15 alunos, com idade mínima de 15 anos e a idade máxima de 17 anos. Os alunos foram previamente informados de que a atividade fazia parte do desenvolvimento de uma atividade voltada à dissertação de mestrado. Além disso, todos os alunos foram avisados de que não precisavam participar, pois a atividade não era utilizada para avaliar o desempenho escolar, podendo iniciar a atividade e encerrar o processo a qualquer momento. O tamanho da amostra acima é para aqueles que frequentaram apenas todos os momentos de desenvolvimento de atividades.

4.1 Metodologia utilizada na aplicação do produto

Como já mencionado, a intervenção proposta pelo produto educacional, idealizado por nós, surgiu mediante a necessidade de alinhar o conhecimento prévio do aluno, com a abordagem metodológica dos três momentos pedagógicos de Delizoikov. É importante destacar que aprendizagem significativa se dará no momento em que o protagonismo do aluno estiver alinhado a metodologia ativa citada, para alcançar o objetivo esperado são utilizadas problematizações iniciais, verificadas na vivência diária dos estudantes.

Com o objetivo de desenvolver o conteúdo específico de timbres e harmônicos emitidos por um som, tendo como base os Três Momentos Pedagógicos, as atividades planejadas e desenvolvidas em sala de aula foram organizadas conforme Quadro 1. Inicialmente, procurou-se relacionar o conteúdo com situações reais do cotidiano, compreender a posição dos alunos mediante ao tema, além de produzir um levantamento de questões relacionadas. Em seguida, com a apresentação dos conceitos

relacionados e atividades propostas, foi realizada a estruturação do conhecimento e, por fim, a exploração de forma qualitativa dos argumentos construídos pelos estudantes ao longo das etapas de Organização e de Aplicação do Conhecimento.

Quadro 1: Síntese das etapas dos Três Momentos Pedagógicos: Investigação dos harmônicos

Etapa	Aulas	Atividades
Problematização inicial	1 aula	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentação do tema. - Análise do vídeo apresentado. - Aplicação de um Quis. - Discussão sobre os diferentes sons percebidos. - Levantamento de possíveis questões sobre o que caracteriza a diferença percebida. - A pergunta de sondagem.
Organização do conhecimento	2 aulas	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentação dos conceitos relacionados ao tema. - Revisão sobre funções trigonométricas. - Estudo do som e suas características fisiológicas. - Apresentação da série de Fourier através de um simulador virtual (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/fourier-making-waves) do site Phet Interactive Simulations. - Discussão dos conteúdos apresentados.
Aplicação do conhecimento	2 aulas	<ul style="list-style-type: none"> - Atividade experimental usando um software, dois instrumentos musicais e um diapasão. - Discussão/avaliação em relação aos dados obtidos na experimentação.

Fonte: Elaborado pelo autor

Essa investigação teve o intuito de constatar, se de fato, os alunos conseguiram refletir sobre a importância de se estudar os harmônicos e observar como essa metodologia, pode motivar os estudantes a tornarem-se sujeitos críticos e reflexivos de suas próprias vivências. Os dados abrangeram produções escritas pelos estudantes, sendo analisados de maneira indutiva, em que as generalizações foram constatadas a partir da observação do professor. Portanto, os resultados apresentam citações concretizadas a partir desses dados para fundamentar as ideias e observações do professor.

4.2 Aplicação do produto educacional

4.2.1 O primeiro Momento Pedagógico

A problematização se deu a partir da apresentação de um vídeo e um Quiz para descobrir qual instrumento musical estava sendo tocado. O vídeo é uma apresentação musical da obra “A abertura 1812” de Piotr Ilitch Tchaikovsky, apresentada pela Orquestra Sinfônica de Heliópolis e Orquestra Juvenil de Heliópolis, regidas pelo maestro Isaac Karabtchevsky (<https://www.youtube.com/watch?v=2EgOP6LLaFc>). O Quiz foi um desafio para que os alunos pudessem, a partir da percepção musical, descobrir qual instrumento estava sendo tocado (<https://www.youtube.com/watch?v=TDxM6mK9Kys>).

A partir das percepções e reflexões, os estudantes entre si, iniciaram discussões sobre o que foi apresentado. Na sequência, os estudantes expressaram suas opiniões e ponderaram sobre as possíveis causas que possibilita diferenciar um instrumento do outro, mesmo emitindo a mesma nota. Esse momento durou em média 35 minutos. Os últimos 10 minutos seguintes da aula foi destinado a um questionamento de sondagem registrada na Figura 7.

Figura 7: Os alunos respondendo ao Quiz e o questionamento



Fonte: Elaborada pelo autor

- *“Por que instrumentos musicais, emitindo a mesma nota musical, produz sons diferentes?”*

Na sequência compartilho a transcrição de algumas respostas dadas pelos alunos em relação ao questionamento de sondagem.

Aluno 1:

- Por causa do materiais e formatos diferentes dos instrumentos.

Aluno 2:

- Devido a vibração que cada um produz.

Aluno 3:

- A maneira que é tocado os instrumentos produzem sons diferentes.

Aluno 4:

- Porque uns produzem sons mais agudos e profundos e outros sons mais alto e leve.

Aluno 5:

- Por causa do timbre, que causa individualidade do som de cada instrumento.

Aluno 6:

- Por conta de sua composição, o material e o modo de fazer são diferentes uns dos outros, além de que o manuseio também é diferente.

Aluno 7:

- O som tem a mesma frequência, o que diferencia o som é o formato da onda, o timbre do instrumento.

Aluno 8:

- Por causa de suas cavidades acústicas que geram timbres diferentes.

Percebe-se que os estudantes responderam mediante o conhecimento prévio do tema de estudo que faz parte do seu cotidiano, mas também é notório que a percepção audiovisual apresentada no vídeo e áudios serviram de recursos motivadores para o desenvolvimento da aula. Nesse momento, o papel do professor é de mediar a construção do conhecimento, organizando os questionamentos e respostas elaboradas pelos alunos, além de atuar como uma ponte entre o conhecimento prévio e a reconstrução do conhecimento, sugerindo novas questões pertinentes ao tema levando o aluno a se apropriar do tema.

A proposta deste momento foi norteada segundo as Orientações Curriculares do Ensino Médio (Brasil, 2006, p. 51).

“[...] Os conhecimentos prévios dos alunos, e a exploração de suas contradições e limitações pelo professor, exigem que este elabore situações e problemas que o aluno não faria sozinho e que tenham o potencial de levar à aquisição de um conhecimento que o educando ainda não possui, mas que passará a ter significância dentro dos esquemas conceituais do aluno. [...] A contextualização como recurso didático serve para problematizar a realidade vivida pelo aluno, extraí-la do seu contexto e projetá-la para a análise. Ou seja, consiste em elaborar uma representação do mundo para melhor compreendê-lo. Essa é uma competência crítico-analítica e não se reduz à mera utilização pragmática do conhecimento científico”

O objetivo foi alcançado, uma vez que eles perceberam que o tema da aula envolvia o estudo da acústica, mais especificamente a investigação do timbre e harmônicos, contudo, após estes questionamentos, notamos que os estudantes encontraram dificuldades na formulação das respostas, surgiram obstáculos na compreensão, evidenciando assim a limitação do conhecimento referente ao tema. Sendo assim, o segundo momento é de extrema importância na fundamentação teórica. O objetivo é embasar cientificamente as concepções espontâneas dos estudantes, revelando mais detalhes e esclarecendo noções um tanto equivocadas.

4.2.2 O Segundo Momento Pedagógico

Nessa etapa, os conhecimentos científicos do tema foram apresentados por meio de uma aula expositiva sobre as características fisiológicas do som, especificamente o timbre e harmônicos correspondentes, revisitamos os conceitos das funções senoidais e suas aplicações, usamos para este fim slides em power point, usando um retroprojetor. Também realizamos a apresentação histórica de Joseph

Fourier, suas motivações e a sua série. Desenvolvemos a relação entre os harmônico e os coeficientes da série de Fourier, neste momento utilizamos um simulador virtual (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/fourier-making-waves) do site Phet Interactive Simulations. É um programa de fácil acesso, instalação rápida e simples de manipular.

De posse de seus celulares os alunos acessaram o site citado acima e realizaram o downloads do simulador virtual, já instalado em seus smartphones os alunos foram orientados a explorarem o mesmo. Os desenvolvedores deste simulador criaram 3 (três) áreas interativas (Figura 8).

Figura 8: Simulador virtual

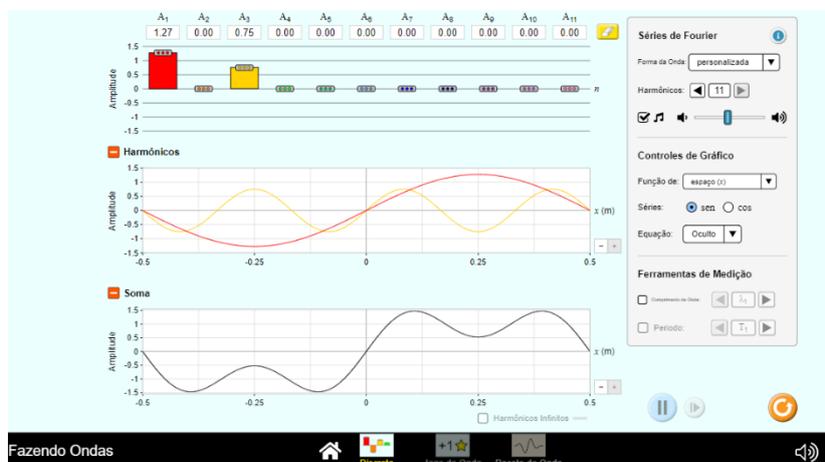


Fonte: phet.colorado.edu

São áreas bem intuitiva, de fácil manipulação e entendimento. Todas destacam a relação entre o os coeficiente da série de Fourier e os harmônicos existentes. Em uma dessas áreas os alunos tiveram a oportunidade de criar e modificar diferentes formatos de ondas, a partir da manipulação da amplitude de cada onda correspondente a um determinado harmônico.

Na área nomeada “Discreta” os estudantes foram orientados a variar a amplitude dos harmônicos, à medida que surgiam mais harmônicos o som produzido pela onda resultante tornava-se mais rico em detalhes (Figura 9).

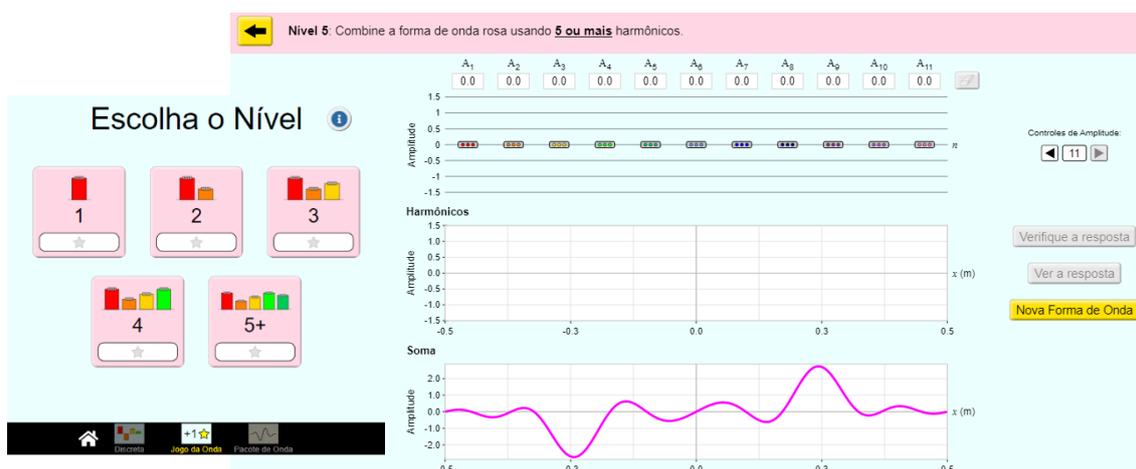
Figura 9: Área “Discreta”



Fonte: phet.colorado.edu

Já na área nomeada “Jogo da Onda” o objetivo é obter a onda resultante que cada nível do jogo apresenta, para isso é necessário dosar a amplitude dos harmônicos presentes em cada nível. A medida que o participante vai avançando de nível a dificuldade vai aumentando, ou seja, cada nível possui uma quantidade de harmônicos compatíveis com o nível em questão (Figura 10).

Figura 10: Área “Jogo da Onda”



Fonte: phet.colorado.edu

A abordagem dos conceitos, através da aula expositiva, se tornou bastante proveitosa quando mediada pela a utilização do programa/simulador. O acesso à tecnologia propõe outras visões a discussão do tema abordado. A satisfação dos alunos

quando convidados a participar de uma atividade experimental é evidente, pois é esse momento que eles aguardam para serem os protagonistas. Quando lhes foram facultados a oportunidade de contribuir e expressarem suas idéias, percebemos que além do conhecimento pré-existentes novos conhecimentos foram ancorados, ao ponto que pontuavam os “erros” cometidos em suas respostas no questionamento de sondagem.

4.2.3 O Terceiro Momento Pedagógico

O objetivo pretendido nessa oportunidade foi de capacitar e dar a oportunidade para que os alunos utilizem os conhecimentos científicos e aparato tecnológico em situações reais, do que simplesmente encontrar uma solução utilizando métodos matemáticos que relacionem grandezas, restringindo-se à resolução de problemas típico dos livros-textos.

Para este propósito ser concretizado foi pensada uma atividade experimental utilizando software, é um programa de computador conhecido como Soundcard Scope (Figura 11) é um osciloscópio da placa de som, o mesmo foi obtido gratuitamente direto do site <https://www.zeitnitz.eu/scope_en>. Através deste aplicativo foi possível guarda os gráficos formados pelos sons captados dos instrumentos.

Figura 11: Programa Soundcard Scope



The image shows a screenshot of the Soundcard Scope website and its software interface. The website header features the name 'Christian Zeitnitz' and navigation links for 'Projeto', 'Escopo da placa de som', 'WaveIO', 'Estagiário', and 'Contato'. A sidebar on the left lists language options (Alemão, Inglês), categories (Perguntas frequentes, Acelerômetro, Versão especial), and a 'Versão alemã' button. The main content area is titled 'Osciloscópio da placa de som' and includes the author's name, 'Principais características', and a detailed description of the software's capabilities, such as its 44.1 kHz resolution and support for various waveforms. A screenshot of the software interface is shown on the right, displaying a real-time oscilloscope with two overlapping waveforms (red and green) on a black background. The software interface includes various control buttons and a status bar at the bottom.

Fonte: https://www.zeitnitz.eu/scope_en

Na ocasião, para agregar a atividade, foram utilizados no aparato experimental, um microfone e uma caixa de som com intuito de amplificar o som

emitidos pelos instrumentos musicais a seguir: uma flauta, um violão e um diapasão mostrados na Figura 12.

Em primeiro lugar foi montado o aparato experimental da seguinte forma: o microfone foi direcionado para o instrumento e conectado ao caixa/amplificado, a saída de som do caixa foi direcionado para a entrada de áudio (microfone) do computador mostrado na Figura 13.

Figura 12: Instrumentos utilizados



Fonte: Elaborada pelo autor

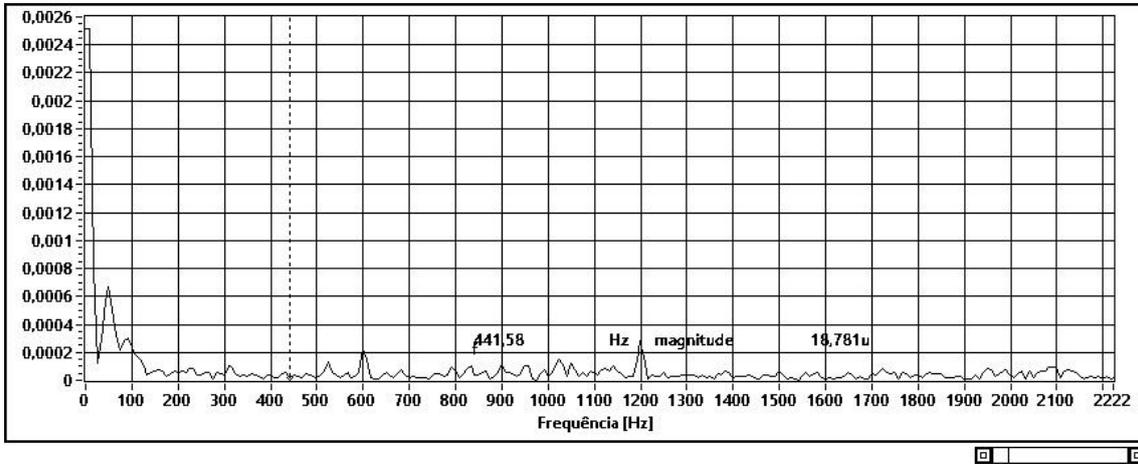
Figura 13: Aparato experimental



Fonte: Elaborada pelo autor

Foram considerados alguns aspectos importantes, como: a distância em que os instrumentos eram tocados, os alunos tentaram se manter a mesma distância, outro aspecto foi o som externo e o próprio ruído emitido pelo meu computador, foi o que eu utilizei na ocasião. Tentamos diminuir o máximo possível para assim obter uma medida mais real para cada instrumento, na Figura 14 tem o registro do ruído captado pelo aplicativo.

Figura 14: Ruído



Fonte: Elaborada pelo autor

Em sequência os alunos foram divididos em grupos, de modo que todos os grupos realizaram a mesma atividade experimental. Que consistiu em registrar através de fotos e anotações a frequência da nota musical LÁ e observar/quantificar os possíveis harmônicos que cada instrumento transmitia, com o uso do programa. Na sequência é compartilhado momentos da experimentação, através de fotos.

Figura 15: Aluno na prática da atividade



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 16: Aluno na prática da atividade



Fonte: Elaborada pelo auto

Figura 17: Aluno na prática da atividade



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18: Aluno na prática da atividade



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 19: Aluno na prática da atividade



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 20: Aluno na prática da atividade



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 21: Aluno na prática da atividade



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 22: Aluno na prática da atividade

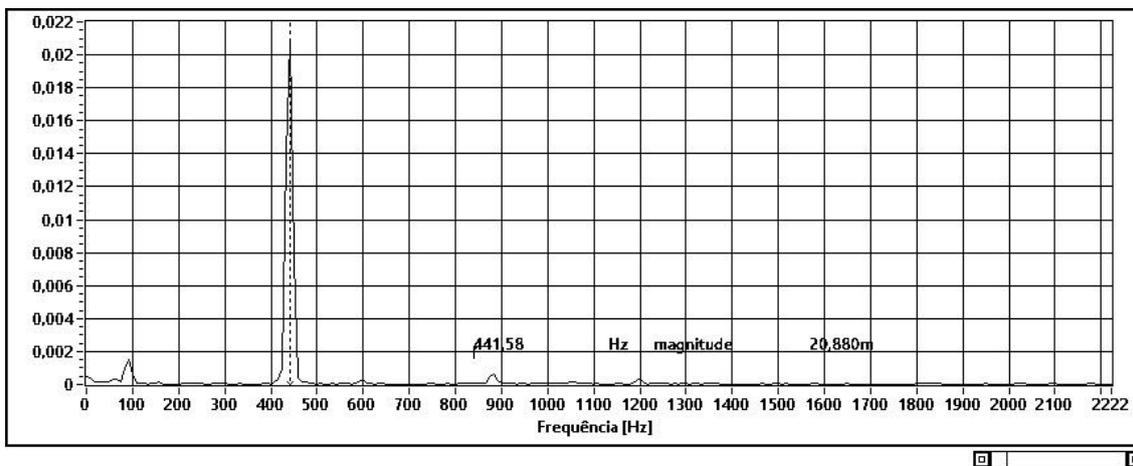


Fonte: Elaborada pelo autor

A seguir são compartilhados os registros dos gráficos obtidos pelos estudantes através do aplicativo. Os registros foram organizados por grupo para que depois eles pudessem analisar e discutir os resultados registrados.

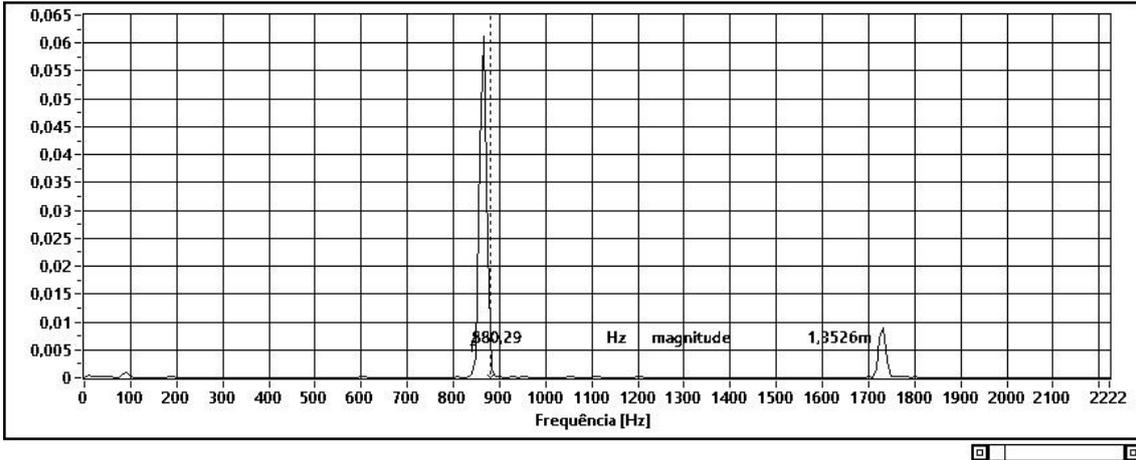
Registros do grupo 1:

Figura 23: gráfico obtido pelo som do diapasão



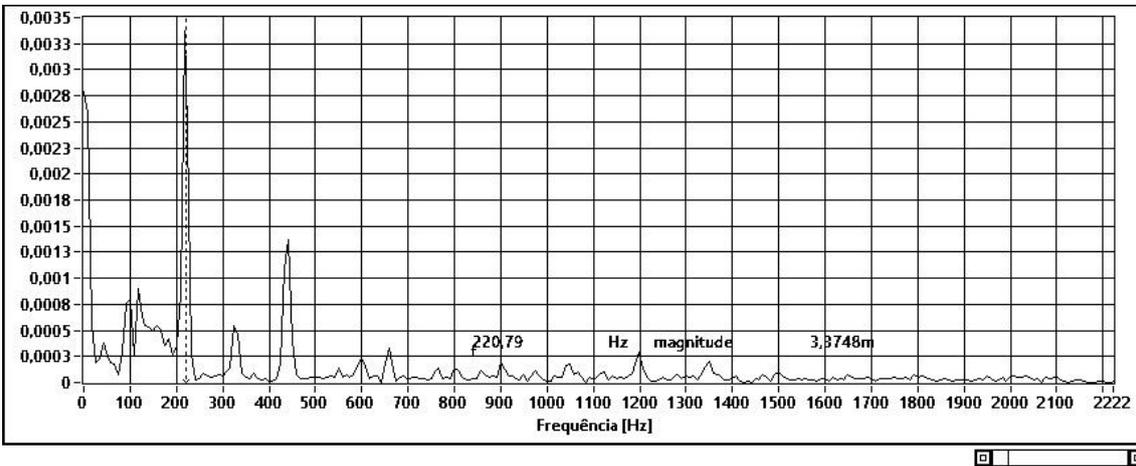
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 24: gráfico obtido pelo som da flauta



Fonte: Elaborada pelo autor

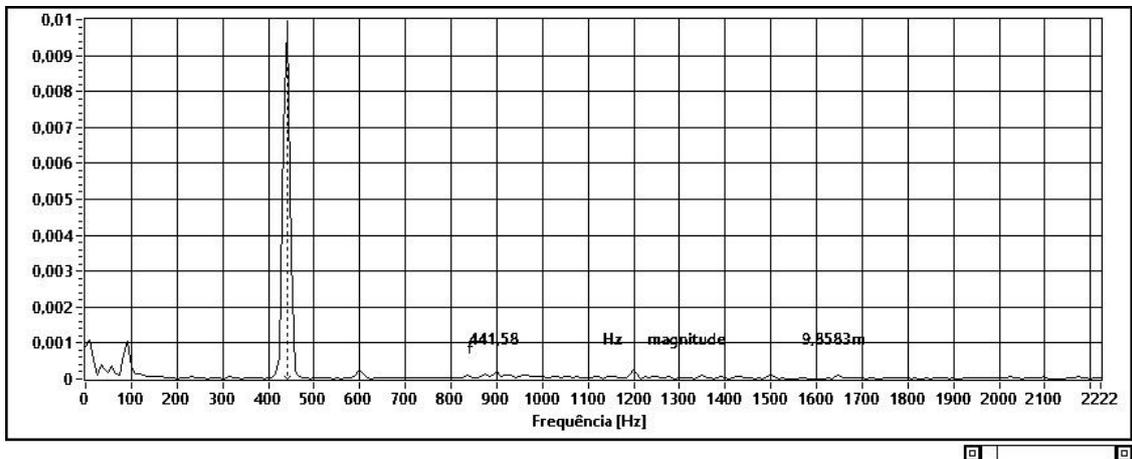
Figura 25: gráfico obtido pelo som do violão



Fonte: Elaborada pelo autor

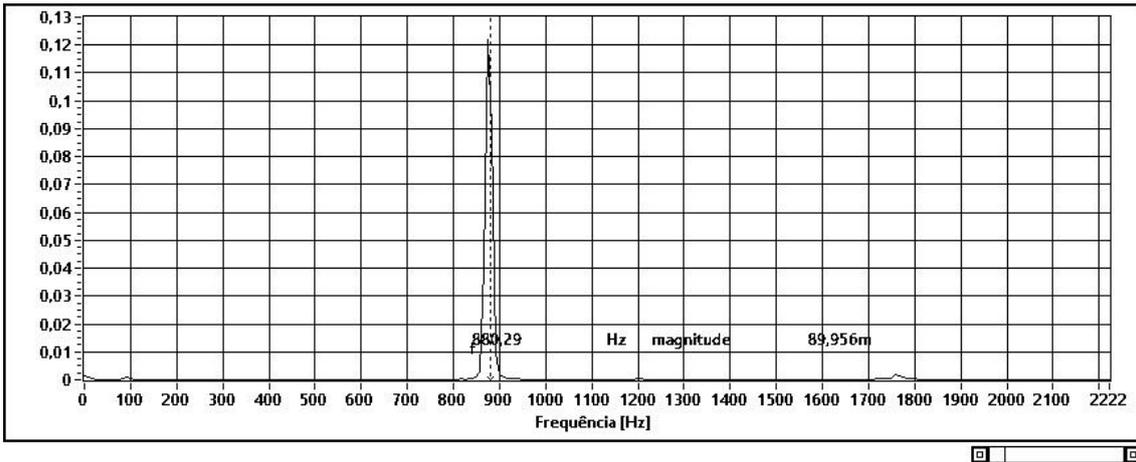
Registros do grupo 2:

Figura 26: gráfico obtido pelo som do diapasão



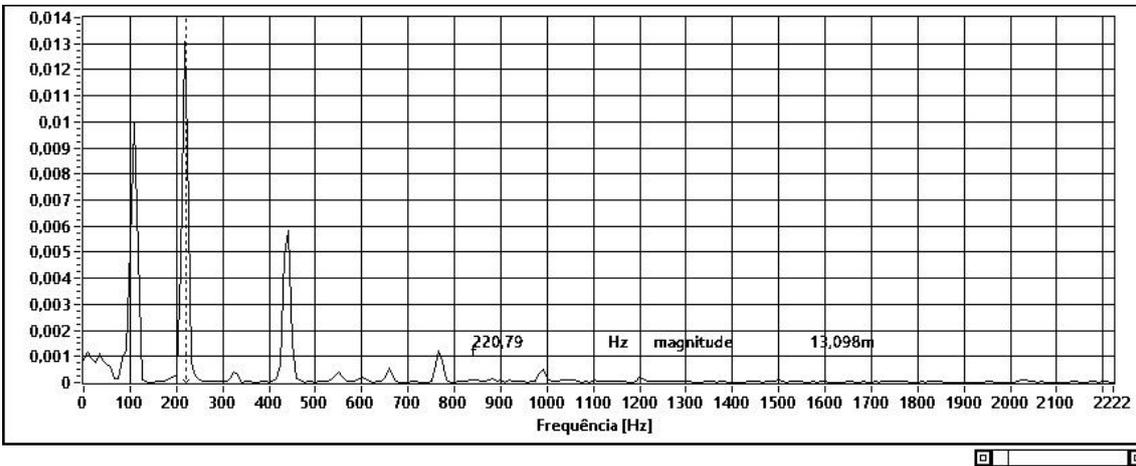
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 27: gráfico obtido pelo som da flauta



Fonte: Elaborada pelo autor

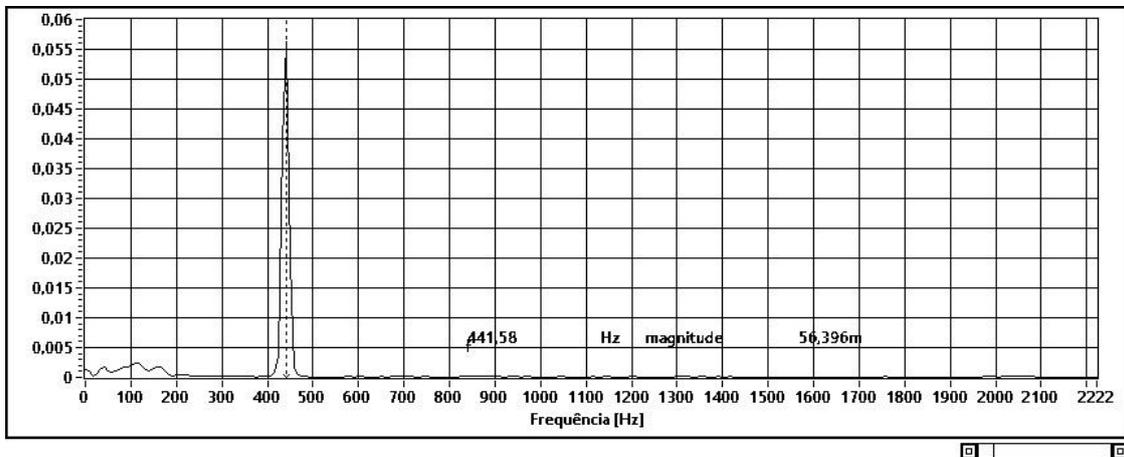
Figura 28: gráfico obtido pelo som do violão



Fonte: Elaborada pelo autor

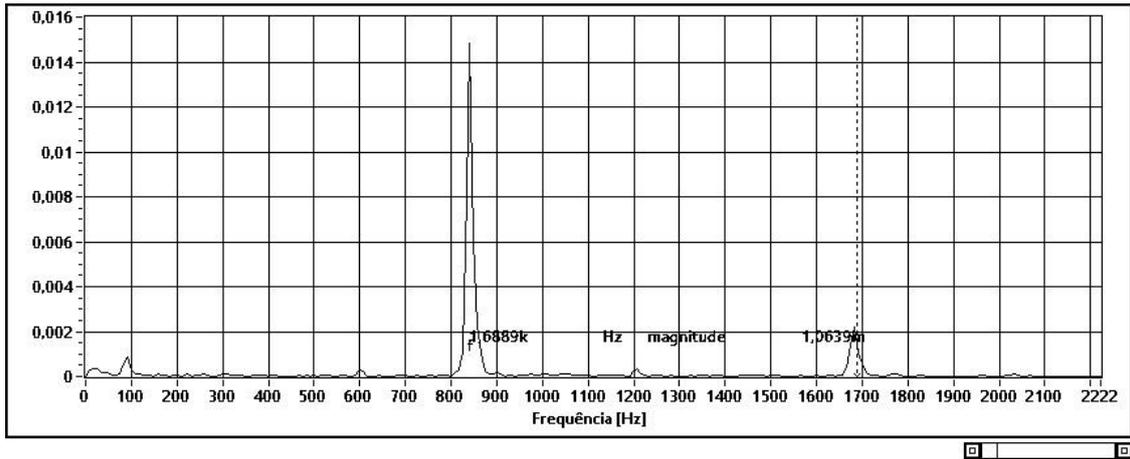
Registros do grupo 3:

Figura 29: gráfico obtido pelo som do diapasão



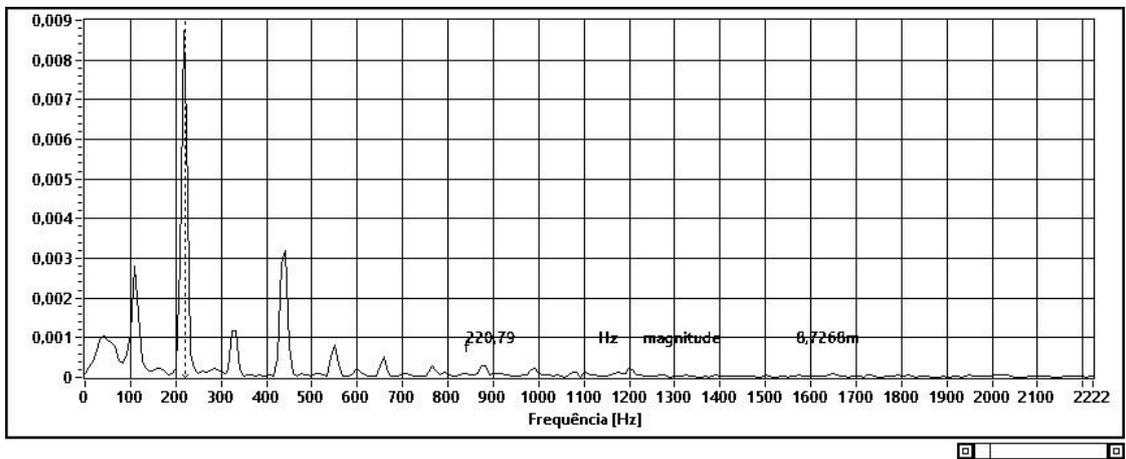
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 30: gráfico obtido pelo som da flauta



Fonte: Elaborada pelo autor

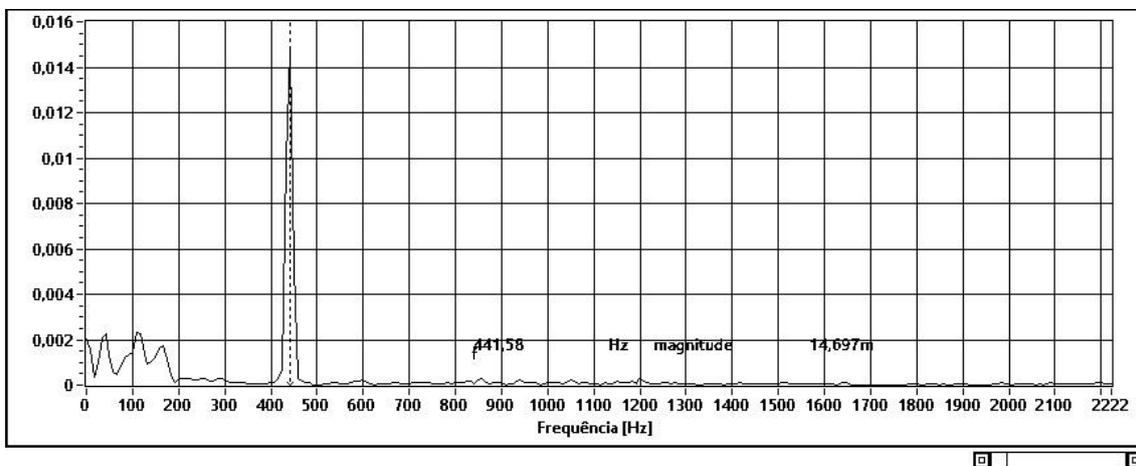
Figura 31: gráfico obtido pelo som do violão



Fonte: Elaborada pelo autor

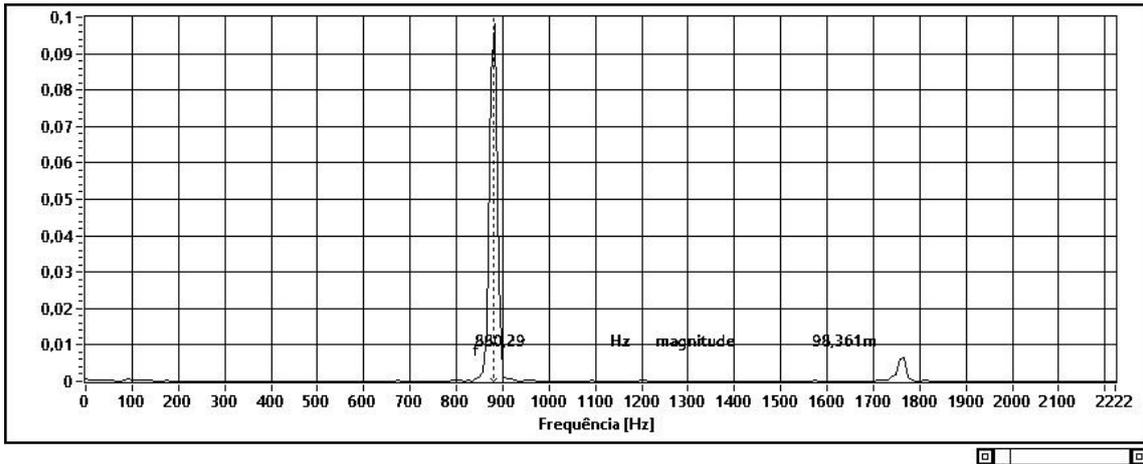
Registros do grupo 4:

Figura 32: gráfico obtido pelo som do diapasão



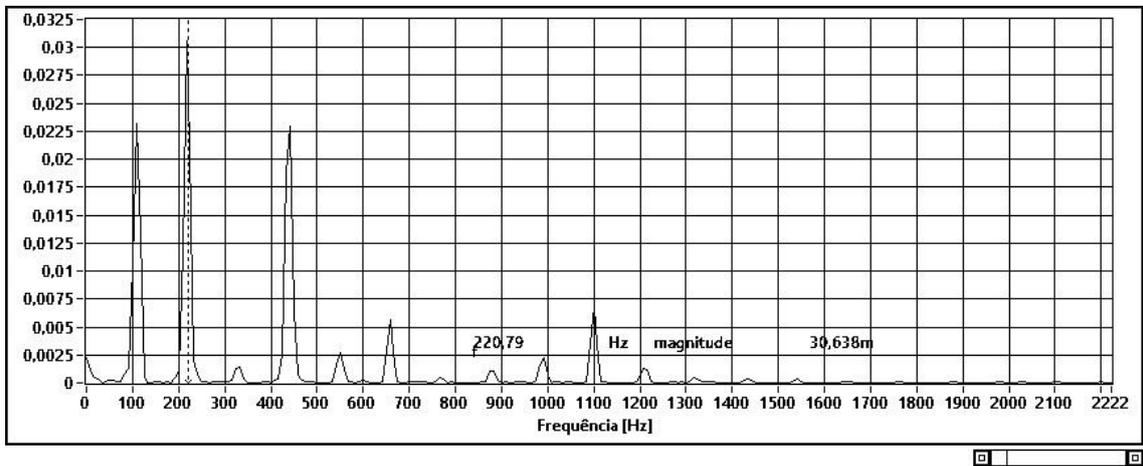
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 33: gráfico obtido pelo som da flauta



Fonte: Elaborada pelo autor

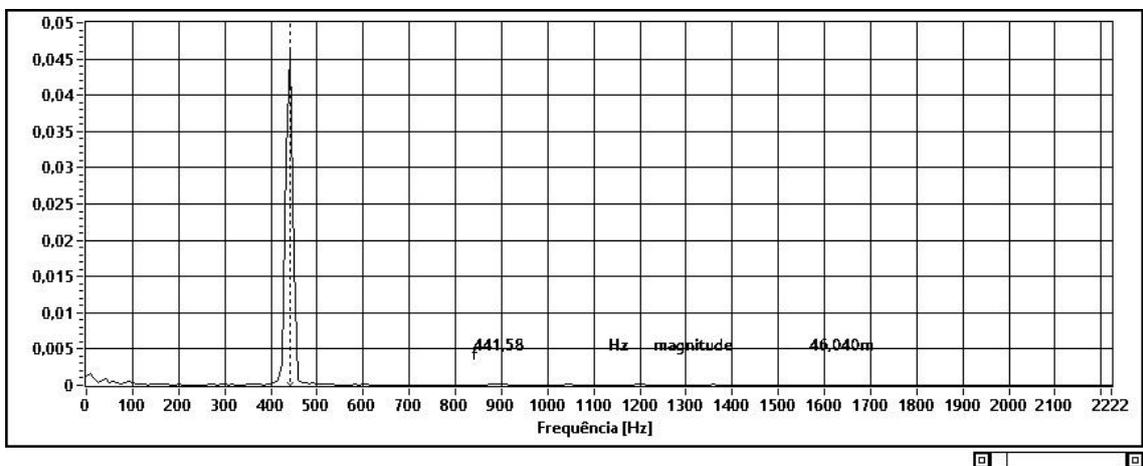
Figura 34: gráfico obtido pelo som do violão



Fonte: Elaborada pelo autor

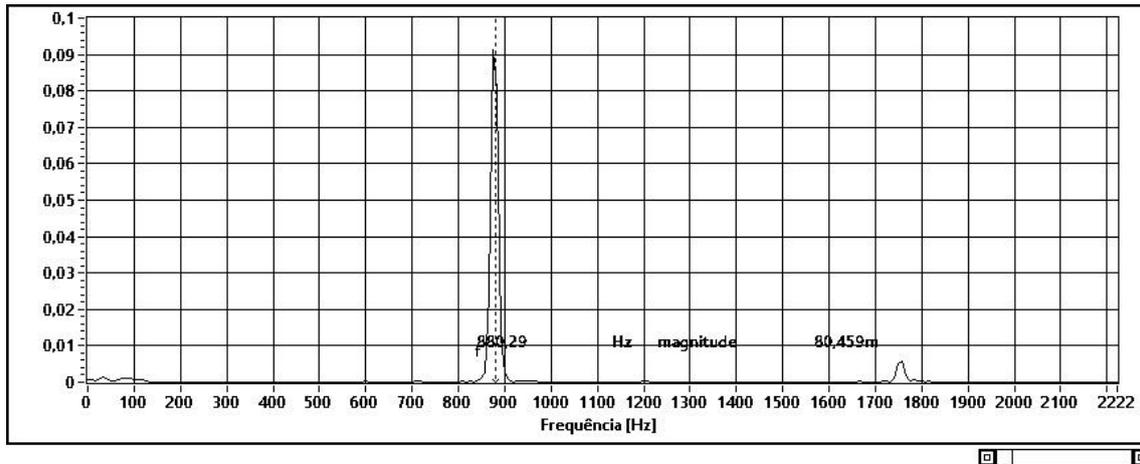
Registros do grupo 5:

Figura 35: gráfico obtido pelo som do diapasão



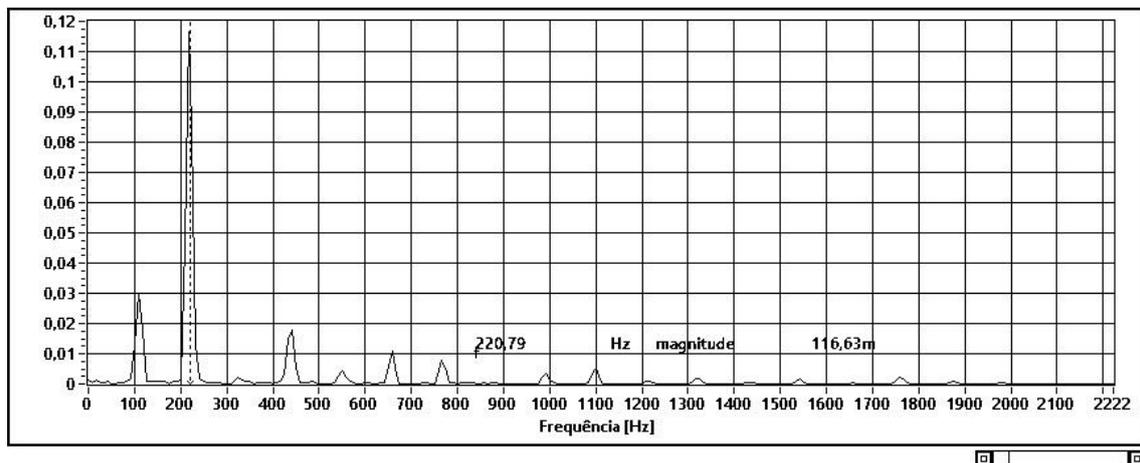
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 36: gráfico obtido pelo som da flauta



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 37: gráfico obtido pelo som do violão



Fonte: Elaborada pelo autor

Após o processamento dos gráficos, os alunos tiveram o momento de socializar uns com os outros os resultados obtidos, a partir da atividade experimental. Além de comparar os resultados, também dialogaram e realizaram um paralelismo entre a dinâmica da atividade proposta em sala de aula e no laboratório. Refletiram sobre como poderiam maximizar a eficácia da atividade proposta com os instrumentos e na possibilidade de resultados com outros instrumentos.

Na sequência veremos a transcrição de alguns relatos sobre todo o processo da investigação pedagógica proposta.

Aluno 1: "A atividade experimental sobre timbre foi uma das mais interessantes até agora. Conseguimos explorar uma variedade de instrumentos musicais e descobrir

como cada um possui seu próprio som característico. Foi uma experiência sensorial incrível!"

Aluno 2: "Eu já gostava de música, mas nunca havia prestado muita atenção ao timbre dos instrumentos. Esta atividade foi reveladora! Percebi como pequenas variações podem criar diferenças tão marcantes no som."

Aluno 3: "Adorei poder experimentar os diferentes instrumentos e ouvir seus sons de perto. Foi fascinante aprender que o material, tamanho e formato de cada instrumento afetam diretamente seu timbre."

Aluno 4: "A atividade prática sobre timbre foi muito enriquecedora. Ao ouvir e comparar os sons dos instrumentos, pude entender como até mesmo instrumentos semelhantes podem ter características sonoras distintas."

Aluno 5: "Eu não sabia que o timbre era tão influenciado pela construção dos instrumentos. Ao experimentar cada um, percebi que a maneira como o som é produzido faz toda a diferença na sua qualidade."

Aluno 6: "Fiquei surpreso ao descobrir que o timbre não se limita apenas aos instrumentos musicais convencionais. Até mesmo objetos do dia a dia podem produzir sons com características únicas."

Aluno 7: "A atividade experimental me ajudou a entender que, além das notas musicais, o timbre é uma parte fundamental da expressão musical. Cada instrumento possui uma voz própria."

Aluno 8: "Achei interessante como a maneira de tocar um instrumento pode alterar o seu timbre. Mudar a intensidade ou a técnica de execução afeta significativamente o som produzido."

Aluno 9: "A atividade prática sobre timbre me fez apreciar mais a diversidade musical. Ouvir diferentes instrumentos nos deu uma percepção mais ampla das possibilidades sonoras."

Aluno 10: "Explorar os diferentes timbres dos instrumentos me fez perceber como a música é rica em nuances. Cada som possui sua própria personalidade e isso é fascinante."

Aluno 11: "O experimento sobre timbre me fez entender melhor como os músicos escolhem os instrumentos de acordo com o som desejado em uma composição. O timbre é uma consideração crucial!"

Aluno 12: "Gostei de poder investigar como os instrumentos produzem sons tão variados. Foi esclarecedor aprender que fatores como a forma e os materiais afetam o timbre."

Aluno 13: "A atividade experimental foi divertida e educativa ao mesmo tempo. Pude perceber que o timbre é uma parte importante da identidade de cada instrumento."

Aluno 14: "A experiência prática nos deu uma visão mais ampla sobre como as características físicas dos instrumentos influenciam diretamente o timbre. Foi uma aula muito valiosa."

Aluno 15: "O experimento sobre timbre me fez refletir sobre como pequenas mudanças podem impactar profundamente a qualidade do som. Foi uma experiência surpreendente!"

Capítulo 5 Resultados e Conclusão

Henrique (2002) afirma no prefácio de seu livro “Acústica Musical”, que “a Acústica Musical é uma área do conhecimento muito vasta, quer pelas matérias que engloba, quer pelo seu carácter interdisciplinar”. (p.5).

O presente trabalho buscou por meio de um arranjo entre Física e Música propor possibilidades para o ensino de Acústica, baseando-se na proposta da BNCC para o ensino fundamental e o Novo Ensino Médio. O fato de aproximar Música e Física é utilizar a interdisciplinaridade entre esses campos de conhecimento como os próprios Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) apontam. São dois temas que dialogam e criam a oportunidade de intervenções ricas, onde o protagonismo dos estudantes é o destaque de acordo com a metodologia optada.

Analisando os dados da aplicação desse produto, constatamos que o mesmo permitiu que os estudantes desempenhasse uma outra perspectiva a respeito da natureza da ciência, concebendo outro significado ao conhecimento e sua aplicabilidade, aproximando-se do ideal da formação científica, no qual devemos, em nossas aulas, proporcionar ao estudantes a autonomia fundamental para amadurecerem em relação ao conceito, ao procedimento e a epistemologia.

Ao pesquisar sobre Física e Música percebemos que a partir da relação estabelecida entre essas áreas, poderíamos alcançar através de uma metodologia ativa, e de fato constatamos, uma aprendizagem significativa, muito além de decorar formulas e aplicá-las. Pudemos perceber o protagonismo, a reflexão em torno do que estavam realizando, seja de forma teórico, seja de forma experimental.

Ressaltamos também que alguns alunos possuíam uma certa afinidade pela música e uma inclinação ao estudo da física, outros preferia mais uma à outra, ou seja, a evolução da proposta foi muito mais rica do que esperávamos, indicando que muito ainda se pode trabalhar nessa área. Após ao término das aulas alguns alunos relataram que só dentro desta proposta perceberam a importância da investigação dos harmônicos dentro do tema central de Acústica. Uma mostra que a dinâmica apresentada pode ser aplicada mais explorada em sala de aula e até mesmo em espaços não formais de educação.

Ficou evidente que cada grupo encontrou algumas dificuldades nas medições, pois para o objetivo ser alcançado com um aproveitamento alto, seria necessário ter um ambiente o mais silencioso possível. Relataram que por não serem tão minuciosos com

o máximo de silêncio e com o mínimo de ruído, os gráficos não apresentaram fielmente o que de fato eles esperavam, mas é possível perceber a diferença de um instrumento para outro nas análises dos sons, realizadas pelo programa.

Contudo, verificamos no debate final que novos conhecimentos foram assimilados, a partir das falas dos alunos. Comprovamos que os materiais escolhidos para o objetivo da investigação desempenharam a função de organizadores prévios. Eles serviram para a ancoragem de uma nova aprendizagem e levaram ao desenvolvimento de novos conceitos. Sendo assim podemos perceber que os mesmos serviram de ponte entre o conhecimento prévio e o que deveria assimilar.

A importância da atividade só constatou o que de antemão já suspeitávamos, que todos os envolvidos, de alguma forma, cooperariam positivamente para o andamento do processo e ainda revelariam seus talentos e percepções auditivas, as quais muitos deles não imaginavam tê-las. Todos saímos ressignificados, percebemos que propostas como a vivenciada devem ser mais frequente, para que com tempo não se perca esse contato visível entre a física e música.

Mostrou também que a problematização inicial precisa acompanhar a realidade do cotidiano dos alunos, pois assim sendo serão revelados os conhecimentos prévios que os mesmos possuem. O material utilizado nesse primeiro momento não necessita de sofisticação, precisa ser rico em argumentos e coeso com o tema escolhido no desenvolvimento da metodologia.

Foi possível verificar que os estudantes suscitaram uma visão diferenciada da Física que antes não existia de uma maneira não concreta, pois mantinham o estigma que a mesma se confunde como uma disciplina totalmente matemática e muitas vezes não apreciada na escola. O aprofundamento dos estudos dos conceitos deu-se pela admiração entre as duas áreas (Física e Música). Nos permitiu perceber a possibilidade do diálogo, que foi sendo desenhado, sistematizando de uma maneira harmônica entre a Física e a Música, e demonstrou que outras experiências dessa mesma natureza poderão ser desenvolvidas, com ampliação de participantes e de tempo de realização.

Posso afirmar que é possível, sim, por meio destes pequenos, mas consistentes, passos, caminhar em direção a uma educação que valorize o protagonismo do aluno e o trabalho de uma física mais experimental. Devemos destacar a importância de se preocupar, muito mais, com a qualidade da abordagem dos conteúdos, do que com a quantidade de conteúdos ministrados. Esse trabalho foi idealizado nesta perspectiva de praticidade e qualidade dos conteúdos levantados.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, K. B. et al. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, 2020.

ANGOTTI, J. A. **Solução alternativa para a formação de professores de ciências: um projeto educacional desenvolvido na Guiné-Bissau**. 1982. Dissertação (Mestrado) – Educação em Ciências, Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP/FEUSP), São Paulo/SP, 1982.

BATISTA, J. L. P.; COIMBRA, D. Um Vídeo Educativo de Acústica a partir da Análise dos Timbres de Instrumentos Musicais do Samba. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - ENPEC, XII, 2019, Natal/RN. **Anais...** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em: < <http://abrapecnet.org.br/enpec/xii-enpec/anais/resumos/1/R1891-1.html>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

BÔAS, C. S. N. V.; FILHO, M. P. S. Ressonância em tubos de garrafas “PET”: uma opção de baixo custo para tubos de Kundt. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**. v. 14, n. 2, 2019.

Brasil, Ministério da Educação. **Orientações curriculares do ensino médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF.

COELHO, Lincoln Mansur; MARQUES, Adílio Jorge; SOUZA, Dominique Guimarães de. A Teoria da Aprendizagem Significativa e o ensino de História. **Revista Educação Pública**, v. 19, nº 31, 26 de novembro de 2019. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/31/a-teoria-da-aprendizagem-significativa-e-o-ensino-de-historia>. Acesso em: 12 de mar. 2022.

CASTRO, A. S. DE. Oscilador harmônico: Uma análise via séries de fourier. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, 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, abr. 2015.

Delizoicov, D. & Angotti, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

_____; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2002. 364 p. (Docência em formação: Ensino fundamental)

ENNES, N. **A Semelhança Harmônica entre o Som do Oboé e do Violino**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.oboenahistoria.com.br/materia.asp?ID=11>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

FEYNMAN, R. P. **Lições de Física Volume 1**. São Paulo: Bookman, 2008.

FILHO, J. V. A. **Sequência de ensino por investigação significativa no estudo das relações entre física e música em atividades experimentais envolvendo o oscilador de Melde**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2018. Disponível em: < <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8363>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

FREIRE, P. **Professora sim tia não: cartas a quem ousa ensinar**. 2e. São Paulo: Olho D'Água, 1993b

_____. **Pedagogia da autonomia**. 47e. São Paulo: Paz e Terra, 2005

GOMES, C. A.; LUDKE, E. Uso da ressonância em cordas para ensino de física. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 33, n. 3, abr. 2011.

HENRIQUE, L. L. **Acústica Musical**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.

KRUMMENAUER, W. L.; PASQUALETTO, T. I.; COSTA, S. S. C. DA. O uso de instrumentos musicais para o ensino de acústica. **Física na Escola**, v. 10, n. 2, abr. 2009.

LIMA, D. O.; DAMASIO, F. O violão no ensino de acústica: uma proposta com enfoque histórico - epistemológico em uma unidade de ensino potencialmente significativa. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, 2019.

LYRA, D. G. **Os três momentos pedagógicos no ensino de ciências na educação de jovens e adultos da rede pública de Goiânia, Goiás: o caso da dengue**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Educação em Ciências e Matemáticas, Universidade Federal do Goiás, Goiânia/GO, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/2971>>. Acesso em: 02 dez. 2021

MAGALHÃES, D. A.; FILHO, J. P. A. A discreta dança do ar ao som das equações da física acústica. **Física na Escola**, v. 16, n. 2, abr. 2018.

MARTINS, R. L. C. et al. A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdo de ondulatória, acústica e óptica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, 2009.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: Um conceito subjacente. **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**, 1999 Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/apsigsubport.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022

_____. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

_____. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, 2008 Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/ORGANIZADORESport.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022

_____. **Teoria da Aprendizagem**. São Paulo: E.P.U., 1999.

_____. **Teoria da Aprendizagem**. 2ª. ed. São Paulo: E.P.U., 2014.

MOREIRA, M. M. P. C.; ROMEU, M. C. O ensino de acústica no ensino médio da rede pública por meio de instrumentos musicais de baixo custo. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**. v. 14, n. 2, 2019.

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, abr. 2011.

MOURA, M. A. DE; CURVO, E. A. C.; ASSIS, A. F. S. DE; BARROS, M. P. DE. Visualize a sua voz: uma proposta para o ensino de ondas sonoras. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 8, n. 1, p. 182-200, 7 abr. 2017.

MUENCHEN, C. **A disseminação dos três momentos pedagógicos: Um estudo sobre práticas docentes na região de Santa Maria/RS**. Tese (Doutorado) - Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93822>>. Acesso em: 28 set. 2021

NASCIMENTO, S. A. et al. Espectro sonoro da flauta transversal. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2015.

OLIVEIRA, A. L. **Fenômenos ondulatórios e os instrumentos musicais: ensino por meio dos três momentos pedagógicos**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia/GO, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8863?mode=full>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

RIBEIRO, E. M. L. **Uma análise simples dos organizadores prévios em livros didáticos de Física do Ensino Médio**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/7242>>.
Acesso em: 16 jun. 2022

RODRIGUES, E. L. **Ensino de acústica: um arranjo entre física e música**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/8817>>. Acesso em: 10 jun. 2022

RODRIGUES, E. V.; CAMILETTI, G. Levantamento de concepções e atitudes dos alunos em Acústica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - ENPEC, X, 2015, Águas de Lindóia/SP. **Anais...** Águas de Lindóia: Hotel Majestic, 2015. Disponível em: < <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/busca.htm?query=ac%FAstica> >. Acesso em: 12 mai. 2022.

SACRISTÁN, G.; GÓMEZ, A. P. **Compreender e transformar o ensino**. 4ª ed. São Paulo: Artmed, 1998.

SANTOS, R. S. DOS; FILHO, P. S. C.; ROCHA, Z. F. D. C. Descobertas sobre a teoria do som: a história dos padrões de Chladni e sua contribuição para o campo da acústica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 2, 2018.

SARTORI, P. H. S.; FREITAS, G. L. Relato de um Processo Investigativo a partir de Proposições Orientadas de Problemas no Ensino de Acústica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2015.

SILVA, L. F.; VEIT, E. A. Uma experiência didática com aquisição automática de dados no laboratório de física do ensino médio. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**. v. 1, n. 3, 2006.

SOARES, D. N. **O ensino de acústica através do uso de instrumentos musicais: uma proposta de ensino usando os 3 momentos pedagógicos**. 2018. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto Federal do Espírito Santo, Cariacica/ES, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1298>>. Acesso em: 13 abr. 2022

SOUZA, C. J. M. et al. Demonstração e análise da interferência acústica utilizando um “tubo de Quincke” e a plataforma Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, n. 1, 2021.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.