

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM EDUCAÇÃO: MÉTODOS E TÉCNICAS
DE ENSINO

HIRAM ZALESKI MOREIRA

**FÍSICA E MÚSICA: ABORDAGEM HISTÓRICA, FILOSÓFICA E EXEMPLOS DE
SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA
2020

HIRAM ZALESKI MOREIRA



FÍSICA E MÚSICA: ABORDAGEM HISTÓRICA, FILOSÓFICA E EXEMPLOS DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Educação: Métodos e Técnicas de Ensino - Polo UAB do Município de Astorga, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientadora: Prof^a. Dra. Elizandra Sehn

EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA

MEDIANEIRA
2020



TERMO DE APROVAÇÃO

Física e Música: Abordagem Histórica, Filosófica e Exemplos de Sequências Didáticas

Por

Hiram Zaleski Moreira

Esta monografia foi apresentada às 8h e 30 min do dia 26 **de setembro de 2020** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Educação: Métodos e Técnicas de Ensino - Polo de Astorga, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^a. Dra. Elizandra Sehn
UTFPR – Câmpus Medianeira
(orientadora)

Prof Dr. Neusa Idick Scherpinski
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof^a. Me. Adriano Hidalgo Fernandes
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-

Dedico à memória viva de
minha mãe Ivone
meu pai Pedro e
meu irmão Izaias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha amada esposa Ticianne; pelo seu amor, companheirismo e amparo nas horas difíceis. A minha filha Sarah, pela oportunidade de poder educá-la, amá-la.

A minha orientadora professora Dra. Elizandra, pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Educação: Métodos e Técnicas de Ensino, professores da UTFPR, Câmpus Medianeira.

Agradeço aos tutores presenciais e a distância que nos auxiliaram no decorrer da pós-graduação.

Enfim, sou grato a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

“A música é um exercício de aritmética secreta
e aquele que a ela se consagra ignora que
manipula números.”
(GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ)

RESUMO

MOREIRA, Hiram Zaleski. Física e Música: Abordagem Histórica, Filosófica e Exemplos de Sequências Didáticas. 2020. 55 folhas. Monografia (Especialização em Educação: Métodos e Técnicas de Ensino). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

Este trabalho tem como temática as relações existentes entre Física e Música. O objetivo geral é analisar a utilização da Música no ensino e aprendizagem da Acústica e Ondulatória, importantes ramos da Física que possuem alto grau de abstração e que necessitam meios didáticos que facilitem a sua compreensão. Para tanto, contempla-se a perspectiva histórica e filosófica da Ciência, investiga-se a construção da teoria musical, as contribuições da Física na Música e vice-versa. Além disso, analisa-se Sequências Didáticas constituídas de atividades musicais utilizadas em sala de aula do Ensino Médio. Parte-se da hipótese de que a Música tem um potencial enorme para o ensino e aprendizagem de Física, a atividade musical pode ser contextualizada aos conceitos físicos de forma experimental, dando mais significado ao conhecimento construído pelos estudantes. Assim, para tornar exequível o teste da hipótese, realiza-se uma pesquisa básica, bibliográfica, de abordagem qualitativa, com objetivo exploratório e descritivo, sob o método hipotético-dedutivo. Conclui-se que a Música foi de extrema importância na construção da Acústica e Ondulatória, bem como a Física colaborou na estrutura da teoria musical.

Palavras-chave: Ensino; Aprendizagem; Acústica; Ondulatória.

ABSTRACT

MOREIRA, Hiram Zaleski. Physics and Music: Historical, Philosophical Approach and Examples of Didactic Sequences. 2020. 55 folhas. Monografia (Especialização em Educação: Métodos e Técnicas de Ensino). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

This work focused on the existing relationships between Physics and Music. The general objective is to analyze the use of Music in the teaching and learning of Acoustics and Wavy, important branches of Physics that have a high degree of abstraction, and that require didactic means that facilitate their understanding. To this end, we contemplate the historical and philosophical perspective of science, investigate the construction of music theory, the contributions of Physics in Music and vice versa. In addition, it analyzes Didactic Sequences consisting of musical activities used in the high school classroom. Based on the hypothesis that Music has a huge potential for the teaching and learning of Physics, musical activity can be contextualized to physical concepts in an experimental way, giving more meaning to the knowledge constructed by the students. Thus, to make the hypothesis test feasible, a basic, bibliographical research is carried out, with a qualitative approach, with an exploratory and descriptive objective, under the hypothetical-deductive method. It was concluded that music was extremely important in the construction of Acoustics and Wavy, as well as physics collaborated in the structure of music theory.

Keywords: Teaching; Learning; Acoustics; Wavy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1: Flautas feitas com ossos de aves e animais	16
Ilustração 2: Gama ou Escala Pitagórica.....	20
Ilustração 3: Gama ou Escala de Zarlino.....	25
Ilustração 4: Figura de Chladini.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	13
3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 FÍSICA E MÚSICA: ABORDAGEM HISTÓRICA E FILOSÓFICA	16
3.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA ENVOLVENDO FÍSICA E MÚSICA.....	30
3.2.1 Resumo dos Trabalhos.....	30
3.2.2 Síntese dos Trabalhos	38
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	41
APÊNDICES	45

1 INTRODUÇÃO

A Música está presente no cotidiano da maioria das pessoas, é um fenômeno global. As experiências musicais são subjetivas, ou seja, os gostos musicais variam e ao falarmos de ensino e aprendizagem, não precisa ser músico ou um exímio instrumentista para utilizar a Música na docência. A Música tem um potencial enorme para o ensino e aprendizagem, pois a atividade musical pode ser contextualizada aos conceitos de forma experimental, dando mais significado ao conhecimento construído pelos estudantes.

O tema deste trabalho, surge da necessidade dos professores de Física em tornar os conceitos abordados em sala de aula mais significativos e interessantes para os alunos, diante disso, este trabalho estuda a relação da Música com a Física e como esta relação pode ser utilizada no ensino e aprendizagem.

A partir da hipótese de que a Música contribui no ensino e aprendizagem de Física nos perguntamos: Como, onde e quando a Música começou a se relacionar com a Física? Como podemos utilizar a música em Sequências Didáticas para o ensino e aprendizagem de Física?

Com tudo, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a utilização da Música no ensino e aprendizagem da Acústica e Ondulatória, ramos da Física que possuem alto grau de abstração e que necessitam de meios didáticos que facilitem a sua compreensão.

Para tanto, foram delineados os seguintes objetivos específicos: verificar na história da Ciência como a Música se relaciona com a Física, reunir sequências didáticas que utilizam a Música para o ensino e aprendizagem de Física, analisar como a Música pode ser utilizada em sala de aula para o ensino e aprendizagem de Física.

No segundo capítulo, são definidos os procedimentos metodológicos da pesquisa bibliográfica, com abordagem qualitativa, objetivo exploratório, sob o método hipotético-dedutivo. A busca referencial é em livros, teses, dissertações, artigos, monografias, disponíveis em sites de universidades, revistas e periódicos de divulgação científica e acervo do autor deste projeto. É feito um fichamento das obras consultadas, relacionando as principais ideias e através da base teórica, cria-se os critérios para identificar a relação da Música com a Física.

No terceiro capítulo, dividido em tópicos de pesquisa ou subcapítulos, esta localizado o referencial teórico e as metodologias da pesquisa.

O primeiro tópico: Física e Música: Abordagem Histórica e Filosófica, revela os fatos descritos pelos historiadores sobre a construção da Física e a sua relação com a Música. A bibliografia existente nesta seção mostra a contribuição da Física na construção da primeira escala musical. Identifica os principais cientistas, músicos e filósofos, apresentando suas ideias e quais os métodos utilizados para a construção do conhecimento que deu origem a primeira teoria para a Música no Ocidente.

O segundo tópico de pesquisa: Sequência Didática Envolvendo Física e Música, contém os resumos e sínteses de nove Sequências Didáticas que utilizam atividades musicais para o ensino e aprendizagem de Física.

No quarto e último capítulo, levantamento e análise de dados, discutimos sobre os resultados obtidos, apresentamos conclusão desta pesquisa, confirmando a hipótese de que a Música pode ajudar no ensino de Física.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

A metodologia usada para o desenvolvimento deste trabalho é definida como pesquisa bibliográfica sobre, métodos e técnicas de ensino e aprendizagem de Física e Música. Portanto, em harmonia com Gerhardt e Silveira (2009, p. 34) a natureza desta pesquisa é básica, logo tem por finalidade conceber novos conhecimentos para a Ciência sem realização ou aplicação prevista.

Tratando-se de pesquisa bibliográfica “A investigação preliminar - estudos exploratórios - deve ser realizada por intermédio de dois recursos: documentos e contatos diretos. ” (MARCONI; LAKATOS, 2002, p.26). Quanto aos objetivos, eles são exploratórios desassociados de pesquisa de campo. Assim sendo, a pesquisa é baseada em dados históricos e assuntos teóricos, ou seja, material bibliográfico como livros e revistas, trabalhos acadêmicos, teses, dissertações, artigos e monografias.

As formas de análise das informações coletadas são qualitativas, salvo a quantidade do material consultado, não se utiliza números ou estatísticas para verificar, comparar os resultados, fazer interpretações e construir a conclusão. Na pesquisa qualitativa o pesquisador busca explicar a razão das coisas indicando aquilo que convém ser executado. (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 32).

Essa pesquisa pretende entender como a música se relaciona com a física e como a física ajudou na construção da teoria musical. Diante disso, estamos de acordo com Marconi e Lakatos (2002, p. 140) quando dizem que as atitudes qualitativas procuram responder a questão “como”.

O método a ser seguido nesta pesquisa é o hipotético-dedutivo, proposto por Karl Popper em 1935. Segundo Gil (2008, p. 12) consiste em identificar um problema, formular hipóteses que serão testadas ou falseadas. De acordo com Nevado (2008, p. 21), testar uma teoria equivale um trabalho teórico, onde o uso da lógica é um instrumento essencial de análise. Conclui-se que o método reside “em oferecer explicações causais dedutivas e em testá-las através de previsões, com base numa relação lógica entre proposições, sendo que o conhecimento resulta das proposições que refutam as hipóteses e teorias iniciais. ” (NEVADO, 2008, p.22).

Partindo da problemática de que os conteúdos de Física são de difícil aprendizagem e que as metodologias de ensino mais utilizadas, como, aulas

expositivas, utilizações exageradas de procedimentos matemáticos e exercícios mnemônicos, estão distantes da realidade dos alunos. Logo, partido da hipótese de que a música pode ser utilizada para o ensino e aprendizagem de Ondulatória e Acústica através de sequências didáticas interdisciplinares, que envolvam uma abordagem histórica, filosófica, experimentos, instrumentos musicais, recursos tecnológicos, áudios e vídeos.

Em consonância com Salvador (1986), citado por Lima e Mioto (2007, p. 40) os procedimentos seguem quatro fases, “elaboração do projeto de pesquisa” “investigação das soluções”, “análises explicativas das soluções” e “síntese integradora”.

Para delimitar o campo de estudo, a coleta de dados segue os seguintes critérios e definições de parâmetros: Tema: Física e Música. Idioma: Português. Fontes: Periódicos da Capes, Google Acadêmico, Scielo Scientific Electronic Library e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações BDTD. O parâmetro cronológico deixamos livre para os documentos históricos, filosóficos e um período de 2000 a 2020 para os trabalhos acadêmicos e Sequências Didáticas.

As palavras chaves de busca foram divididas em genéricas: física, música, história, ensino e aprendizagem. E palavras chaves específicas: sequência didática, acústica, acústica musical, ondulatória, experimento musical, monocórdio, tubos sonoros, instrumento musical, percepção, psicoacústica, consonância, dissonância, violão, guitarra, teclado musical, teoria musical, frequência, ressonância, som, timbre e onda sonora.

Selecionadas as bibliografias pertinentes ao tema deste trabalho, segue-se como base, o roteiro apresentado por Lima e Mioto (2007, p. 42). As informações são organizadas em três campos de investigação: “identificação da obra”, “caracterização da obra” e “contribuição da obra para o estudo”

A identificação da obra é feita através de um fichamento, contendo: Nome do autor, título da obra, ano, editora, local, endereço eletrônico e data de acesso, caso o material seja retirado da internet.

O estudo nessa pesquisa caracteriza cada obra através de resumos destacando o tema central, os objetivos e se estão de acordo com o tema central, identifica os conceitos abordados em cada obra, ou seja, o trabalho evidencia as definições e teorias mais utilizados.

A pesquisa analisa a colaboração de cada obra para o estudo, registrando as reflexões, questionamentos, brechas para novos estudos e conclusões dos autores.

Os roteiros mais extensos são separados em Apêndices, localizados no final deste trabalho.

Por fim, este trabalho reúne elementos para a construção de uma síntese que consiste em uma reflexão sobre os dados obtidos, comparações das obras em diferentes ângulos e perspectivas sobre um mesmo problema, comparação de resultados, interpretações e a contribuição da pesquisa para o ensino e aprendizagem de Física e Música.

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, este trabalho apresenta respectivamente, uma revisão bibliográfica relacionada aos fatos históricos envolvendo Física e Música, resumo e síntese de nove trabalhos acadêmicos ou sequências didáticas envolvendo atividades musicais para o ensino e aprendizagem da Acústica e Ondulatória no Ensino Médio.

3.1 FÍSICA E MÚSICA: ABORDAGEM HISTÓRICA E FILOSÓFICA

O deslumbramento do Homem pelos sons da Natureza é antigo. Existem registros históricos que apontam para uma atividade musical bem antes da civilização. Segundo Cavini (2017, p. 20) o homem pré-histórico reproduzia os sons que ouvia no meio ambiente, utilizando o seu próprio corpo ou artefatos. Alguns instrumentos musicais antigos, encontrados na França, teriam aproximadamente quarenta mil anos, eram variedades de flautas, feitas de ossos de animais. Provavelmente, os caçadores usavam estes instrumentos para atrair suas presas para a caça.

Há indícios de que o Homem de Neandertal é o criador do instrumento musical mais antigo já encontrado. De acordo com Frederico (1999, p. 9) uma flauta feita de osso de uma espécie de urso já extinto, foi encontrada na Eslovênia em 1998 por pesquisadores americanos e canadenses. O artefato foi datado com aproximadamente quarenta e cinco mil anos. Em 2009, foi encontrado no sul da Alemanha, na caverna Hohle Fels, uma flauta feita de osso de abutre, com aproximadamente de 35 mil anos. (CAVINI, 2017, p. 21).

Ilustração 1: Flautas feitas com ossos de asas de abutres e dentes de mamutes



Fonte: <http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL1206524-5603,00-FLAUTA+DE+MIL+ANOS+E+MAIS+ANTIGO+INSTRUMENTO+MUSICAL+DO+MUNDO.html>

Na imagem acima, vemos que provavelmente as perfurações foram feitas por alguma ferramenta cortante, a disposição dos furos sugere a composição de algum tipo de escala musical. Talvez, uma pesquisa mais detalhada e um aprofundamento teórico nos revelaria a relação desta suposta escala com a escala musical dos dias atuais.

De acordo com Cavini (2017, p. 27) a Antiguidade é um período histórico onde os povos começaram a se organizar em Estados, aparecem os primeiros indícios de produção de textos e estruturação de algumas religiões como o budismo, judaísmo e o cristianismo. Os sumérios, babilônios e assírios são os povos que viveram na região da Mesopotâmia, utilizavam a música em seus rituais religiosos e já faziam uso de instrumentos musicais de corda, sopro e percussão (CAVINI, 2017, p. 38). Os egípcios, povo que habitava as margens do rio Nilo, apresentava um notável desenvolvimento artístico. (CAVINI, 2017, p. 38).

Na china, aproximadamente 3000 a.C., a música já tinha um sistema estruturado. De acordo com Candé (1994) citado por Cavini (2017, p. 48) Ling-luen, antigo pensador chinês, observou que os sons produzidos na natureza correspondiam ao comprimento e vibração de canas. Com isso, definiu os alicerces dos intervalos musicais como quinta e oitava e com ajuda da matemática, organizou uma série com cinco notas correspondentes a cinco elementos.

O princípio do *lyu* teria surgido da ideia de Ling-luen em talhar canas cujas relações de comprimento correspondessem à harmonia entre céu e terra (simbolizados pelos números 3 e 2). A partir daí, cada cana teria $\frac{2}{3}$ do comprimento da precedente (intervalo de 5ª.), de onde surgiu uma escala baseada no “ciclo das quintas” (CAVINI, 2017, p. 49).

Ao que tudo indica, os chineses construíram a escala Pentatônica por meio do ciclo de quintas. De acordo com Frederico (1999, p. 15) o primeiro teórico da música chinesa foi Ling-luen, responsável pela nomeação das cinco notas baseada em classes sociais, por exemplo: uma escala Pentatônica (Fá, Dó, Sol, Ré, Lá), Fá “Kong” seria o imperador, Dó “Che” o funcionário, Sol “Chang” ministro, Ré “Yo” o camponês e Lá “Kio” representava o burguês.

De acordo com Wisnik (1999, p. 61) os chineses estudaram as características do som através do comprimento de bambus pois tinha afinidade com as flautas.

Frederico (1999, p. 15-16) descreve a lenda do imperador chinês Hoang-Ti que enviou o seu mestre da música pra terras distantes, onde havia uma espécie de bambu, lá o viajante cortou e fabricou uma flauta. Naquele vale existia uma espécie de “fênix macho” que após ouvir o som produzido pela flauta, cantou seis sons, uma “fênix fêmea” teria se aproximado e cantado outras seis notas diferentes, isso fez com que o músico fabricasse uma flauta com doze sons.

No Ocidente, Grout e Palisca (2007, p. 17) relata que a música na mitologia grega teve origem nos deuses e semideuses como Apolo, Anfião e Orfeu. Os povos antigos acreditavam que a música tinha poderes mágicos como curar doenças do corpo, mente e produzir alterações na Natureza.

A prática musical ocorreu tanto nas civilizações antigas, já extintas como: egípcia, babilônica e assíria, como também nas civilizações milenares como: chinesa e a hindu. No entanto, foi na Grécia antiga que a música teve relações mais íntimas com a filosofia e educação (GRANJA, 2006, p. 21). Os antigos gregos são considerados os primeiros pensadores que buscavam relacionar suas crenças com a natureza, dando início a Filosofia Natural, conhecida hoje como princípios científicos (GRILLO *et al.*, 2012 citado por GRILLO; PEREZ, 2016, p.39).

De acordo com Rocha (2009, p.40) paralelo a Grout e Palisca (2007, p.19) existia pelo menos duas correntes de pensamento dedicadas ao desenvolvimento da teoria musical na Antiguidade Clássica: a Pitagórica e a Aristoxênica.

Segundo Bartol (2000, p.163) e Gentili (1988) citado por Rocha (2009, p.139), as bases científicas da teoria musical surgiram com atividades experimentais feitas pelos “pitagóricos e pelos harmonicistas”. Tais experimentos, demonstravam que as relações entre distâncias e proporções intervalares, tornavam a música a arte do som, independente da poesia e da dança.

Um dos personagens mais citados na História da Música é Pitágoras, nascido no século VI a.C. na cidade de Samos, ilha Grega. Ao que tudo indica, desapareceu depois de ser perseguido pelos seus rivais (BOYER (1996) citado por GRILLO; PEREZ, 2016, p.39).

Segundo Henrique, (2007, p.15) e Tomás, (2005, p. 14) Pitágoras não deixou material escrito, tudo que temos sobre ele estão nas obras de Heródoto, Heráclito Xenófanes, Aristóteles e Platão. Existem especulações a seu respeito, por exemplo a invenção do monocórdico.

É bastante provável que Pitágoras não tenha sido o real inventor do cânone, pois era costume entre os pitagóricos atribuir ao seu mestre todas as descobertas importantes que faziam parte das doutrinas dessa escola (WEST, 1992, p. 240) citado por (ROCHA, 2009, p. 41).

De acordo com Landels (1999, p.131) citado por Rocha (2009, p.141) Pitágoras desenvolveu o monocórdico ou kanon, instrumento utilizado para medir os intervalos musicais, no entanto, a invenção do monocórdico era atribuída a Simos, que teria construído uma espécie de cítara horizontal e que tinha a mesma finalidade do monocórdico. Wisnik (1999, p.62) confirma que as relações de comprimento de cordas vibrantes com consonâncias e frequências, surgiram no Ocidente inicialmente com Pitágoras. A disposição de harmônicos em uma corda vibrante são descritas da seguinte forma: “Se temos um som melódico emitido pela vibração de uma corda inteira, o primeiro harmônico (a oitava resulta da vibração de $1/2$, o segundo de $2/3$, o terceiro de $3/4$, o quarto de $4/5$, o quinto de $5/6$.” (WISNIK, 1999, p.62).

De acordo com Henrique, (2007, p. 15) foi Tales de Mileto (640 – 546 a. C.) e seu discípulo Pitágoras, que introduziram a matemática na cultura grega. Pitágoras realizou importantes experimentos com cordas vibrantes utilizando o monocórdico, instrumento constituído de uma corda tensionada, com dois cavaletes fixos e um móvel.

Tanto Henrique (2007, p.15) como Grout e Palisca (2007, p. 22) e Abdounur (2006, p. 4-5) relatam que Pitágoras verificou que quanto menor era o comprimento da corda mais agudo era o som obtido, confrontado o som de duas cordas, a metade do comprimento da corda originava – se uma oitava, $2/3$ a quinta justa e $3/4$ a quarta justa, definindo assim as consonâncias: oitava, quinta e quarta.

Acredita-se que o experimento com o monocórdico foi o primeiro na história da Ciência a caracterizar uma lei física através de um planejamento e construção de um dispositivo no objetivo de verificar um fenômeno físico (ABDOUNUR, 2006, p.5).

Granja, (2006, p.31) relata que Pitágoras verificou através do monocórdio “os sons mais agradáveis eram obtidos quando a corda era dividida na razão de pequenos números inteiros. Caso contrário, os sons obtidos eram desagradáveis ao ouvido.” Apesar de Pitágoras defender um caráter místico para as relações numéricas com os intervalos musicais, foi o primeiro a manifestar uma atividade

científica para a música. Pitágoras, obteve empiricamente, o que pode ser considerado a primeira escala musical, constituída por quatro notas: tônica, quarta, quinta e oitava.

De acordo com Abdounur (2003, p.6) as consonâncias foram descobertas por Pitágoras, no entanto, outros povos já conheciam a consonância entre tônica e quinta. Helmholtz (1885/1954: p.1) citado por Henrique, (2007, p.15) alega ser possível que as investigações das consonâncias perfeitas já eram conhecidas pelos sacerdotes egípcios, conhecimento parcialmente compartilhado com Pitágoras.

Abdounur (2006, p.9) relata que o surgimento da primeira escala musical no Ocidente, foi desenvolvida pelos pitagóricos a partir do ciclo de quintas. Dada nota fundamental, a primeira divisão $1/2$ corda, origina-se uma oitava, a mesma nota, porém com maior frequência, não seria possível compor melodias com oitavas, no entanto, um número significativo de notas quanto fosse possível a divisão. Partindo desta perspectiva, a segunda divisão $2/3$ da corda, gerava uma quinta justa, fazendo a divisão da quinta, gerava outra quinta, e assim por diante. Por exemplo tomando a nota Fá como fundamental, a quinta é o Dó, que por sua vez dá origem a outra quinta, o Sol, na sequência o Ré seria a quinta do Sol, prosseguindo, Lá é a quinta de Ré, a quinta de Lá é Mi, no que lhe concerne, o Si como quinta de Mi. Consequentemente, este ciclo de quinta origina a sequência: Fá, Dó, Sol, Ré, Lá, Mi e Si.

Ordenando no espaço da primeira oitava, tomando 1 como comprimento da fundamental e relacionando o comprimento de cada nota obtida, a escala apresenta-se como:

Ilustração 2: Gama ou Escala Pitagórica, notas musicais e seus respectivos comprimento de corda.

Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si	Dó
1	8/9	64/81	3/4	2/3	16/27	128/243	1/2

Fonte: Figura do autor

Segundo Rocha (2002, p. 29), Pitágoras formulou matematicamente, a lei das cordas vibrantes, a teoria mais antiga da Física, contudo, surge o paradigma “a música das esferas”. Para os pitagóricos, a música seria entendida através da inteligência, não por meio da audição.

Filolau de Crotona, filósofo pitagórico da segunda metade do século V a.C., disse que todas as coisas têm um número que lhes dá a sua definição e que sem ele nós não poderíamos perceber ou conceber o mundo. (DIELS, KRANZ e BURKERT, 1972, p. 261-266) citado por (ROCHA, 2009).

Segundo Grout e Palisca (2007, p. 19), Pitágoras e seus discípulos não separavam a música da aritmética, eles acreditavam numa numeração cósmica, harmoniosa e que poderia descrever todo o universo espiritual e físico. De acordo com Granja (2006, p.34), Pitágoras acreditava que as consonâncias dependiam não apenas do comprimento da corda, mas sim, da tensão, espessura e material que era constituído a corda. Isso levou os pitagóricos a crerem numa harmonia inerente aos objetos, que podia ser descrita por números.

Esta correspondência entre números e sons fez surgir um novo modelo de mundo; “Harmonia das esferas celestes”, seria uma analogia entre a escala pitagórica que possuía sete notas musicais e o sistema astronômico da época: Lua, Sol, Vênus, Mercúrio, Marte, Júpiter e Saturno (GRANJA, 2006, p.34).

Pitágoras foi grande estudioso da matemática, ele acreditava numa perfeição cósmica que poderia ser traduzida em números. Provavelmente foi precursor da “Tetraktys sagrada” a escola de Samos, que desenvolveu importantes estudos para a música (GRILLO; PEREZ, 2016, p.40).

Segundo Granja (2006, p.30) Pitágoras fundou uma escola onde ele e seus discípulos dedicavam-se aos estudos da Aritmética, Geometria, Astronomia e Música. Rocha (2002, p.29) também Henrique (2007, p.15) relatam que a música era uma atividade prazerosa para os gregos, mais que isso, importante na formação dos cidadãos, visto que, era ensinada simultaneamente com a Geometria, a Astronomia e a Aritmética, ramos dos conhecimentos que faziam parte do “Quadrívium”, nome dado a um conjunto de disciplinas lecionadas nas universidades desde a antiguidade até o Renascimento.

De acordo com Aguiar (2008, p.2), Platão (428 – 347 a.C.), influenciado pelas ideias de Pitágoras, Dâmon e Sócrates, inicia uma análise racional para justificar quais formas musicais careceriam de importância na formação ideal dos gregos. Simpatizante da harmonia das esferas, acreditava que a música era a parte reguladora da estabilidade universal, simbolizando a ligação do Pai Celestial com o Homem. Essa ideia atravessou os séculos influenciando não só Música, mas também a Filosofia e a Metafísica (GRANJA, 2006, p.35).

A educação musical era considerada importante para a formação do cidadão grego. Tomás (2005, p. 20) relata que Platão, na obra República, defendia a função ético – educativa da música na formação do cidadão, inclusão do canto na música instrumental e uma prática musical constituída de experiência auditiva e cálculos matemáticos. Por outro lado, Tomás (2005, p. 26) menciona que Aristóteles em seu livro, Política, propõe o hedonismo, isto é, atividades educacionais aliadas ao prazer.

Os livros de História revelam outros experimentos que buscavam explicações científicas para a Música. O pitagórico Hipaso de Metaponto, descobriu as consonâncias com o auxílio de discos de bronze com diâmetros iguais e com espessuras diferentes. Rocha (2009, p.142) relata que tal experimento fornecia excelentes resultados e que foi utilizado principalmente no Sul da península Itálica por Glauco de Régio, século V a. C., que também estudou as consonâncias.

De acordo com Privitera (1975, p. 69 – 73) e Burkert (1972, p. 377 – 378) citado por Rocha (2009, p.142) Laso de Hermíone, apesar de não ser considerado pitagórico, fez experimentos utilizando vasos preenchidos com líquidos para verificar as razões entre volume e consonância. Este tipo de experimento envolve não somente a percepção auditiva, como também a noção espacial dos intervalos musicais.

Conforme Rocha (2009, p. 142) os pitagóricos, além de filósofos e matemáticos, eram na maioria músicos que valorizavam a prática experimental para o cálculo dos intervalos. Apesar do esoterismo existente naquela época, a determinação das consonâncias fora baseada na matemática, atividade musical e experimental.

Em contrapartida ao pensamento pitagórico, Aristóxeno defendia o uso apenas da audição para determinar os intervalos musicais, entretanto, dividia um

tom inteiro em doze partes iguais como referência de unidades de medida. (GROUT; PALISCA, 2007, p.22).

Aristoxeno de Tarento, (375 e 360 a.C), nasceu em Tarento, filósofo e teórico da música foi discípulo de Aristóteles e segundo Palisca (1980) citado por Henrique (2007. p.16), escreveu a obra “Elementos de Harmonia” baseando-se na percepção auditiva recusando o uso de dogmas e tratamento matemático para a música, ideia oposta à de Platão e dos pitagóricos e concomitante ao aristotelismo. Aristóxeno “Foi a figura mais importante e influente no campo da teoria musical na Grécia Antiga, conhecido como “o músico”. Viveu durante e depois da era de Alexandre, o Grande.” (GOUVÊA, 2017, p.2)

De acordo com Rocha (2009, p.142) Aristóxeno organizou sistemas complexos de escalas musicais, combinou gêneros tendo como base o tetracorde, que, a grosso modo, era um instrumento dotado de quatro cordas notas, constituído de um intervalo de quarta justa entre duas notas fixas e duas notas variáveis entre o referido intervalo.

Arquitas de Tarento (430-360 a. C.) contribuiu na elaboração teórica da Música sob uma nova perspectiva. De acordo com Abdounur (2006, p. 16) Arquitas foi um dos primeiros estudiosos a definir o som como a consequência de batimentos na matéria, que geravam sons mais agudos ao passo que se tornavam mais rápidos, em contrapartida, sons mais graves com velocidades mais baixas.

De acordo com Abdounur (2006, p.18) o pensador tarentino aproximou duas ideias antagônicas daquela época, o pitagorismo – essência na matemática, e o aristoxenismo – fundamentado no empirismo. Em seus estudos, Arquitas aproximava a percepção auditiva com o detalhamento matemático.

Arquitas desenvolveu a sua teoria considerado que o meio de propagação sonora influenciava diretamente no som, as qualidades inerentes a um instrumento musical não seria o foco das atenções. Sobre essa ótica, foi traçado o caminho para novas investigações e teorias que mais tarde explicariam a propagação de ondas-partículas no meio (ABDOUNUR, 2006, p.19).

Cláudio Ptolomeu (século I d. C) é descrito por Grout e Palisca (2007, p.20) como “o *mais* sistemático dos teóricos antigos da música, foi também o mais importante astrônomo da antiguidade. ” Ptolomeu creditava que a matemática estava tanto nos fundamentos da música como na ordem dos corpos celestes.

Na Idade Média, a partir dos anos 800 d. C. até o Renascimento, a música ocidental teve significativas mudanças, no entanto, o desenvolvimento foi apenas na maneira como eram executadas e feitas as composições musicais. (ABDOUNUR, 2006, p. 21).

Podemos considerar o período medieval como um prelúdio para aquilo que viria mais tarde:

A **Idade Média** foi um longo período de dez séculos que presenciou tanto o nascimento da polifonia como o início da estruturação da teoria e notação musical ocidental. Importante salientar que durante o período medieval a música não esteve estagnada, mas percorreu uma trajetória em que novas técnicas, conhecimentos e estilos foram se incorporando à prática musical, de modo a preparar os caminhos musicais para os períodos futuros. (CAVINI, 2017, p.98, grifo do autor).

Na idade média não tivemos avanço significativo na Ciência, no entanto, no campo da teoria musical, Guido d' Arezo (990 – 1050) teve grandes contribuições para a nomenclatura e desenvolvimento do que chamamos hoje de pauta musical. Além disso, d' Arezo foi grande divulgador da obra de Pitágoras, em cinco capítulos da sua obra *Micrologus*, descreveu as divisões de corda no monocórdico (HENRIQUE, 2007, p.17).

Durante o Renascimento aconteceu grandes transformações, deste então, não seria mais possível separar Arte e Ciência. Cavini (2017, p.107, grifo do autor) faz o marco histórico “**A Renascença** é um período de grande importância para o estudo da História e, conseqüentemente, da História da Música, pois trata do despontar dos “tempos modernos”, o fim da Idade Média e o início da Idade Moderna.” Em concordância, Abdounur (2006, p.26) escreve que o período renascentista foi marcado por grandes transformações, no panorama musical o Renascimento destacou o desenvolvimento da polifonia, nivelamento de melodias e o aprimoramento de harmonias.

Na Renascença tivemos o advento de novas teorias científicas para a música. Leonardo da Vinci (1452 – 1519), pintor, escultor, engenheiro, arquiteto e sábio, interessava-se por diversas áreas da Ciência e Arte. Estudou Acústica, através da observação do fenômeno do eco e concluiu que a velocidade do som era essencialmente limitada. Hunt, (1978) citado por Henrique (2007, p.19), relata que Leonardo da Vinci fez experimentos com cordas vibrantes por simpatia, ou seja,

quando a corda de um alaúde oscilava, esta provocava a oscilação de outra corda de mesma nota em outro alaúde próximo.

De acordo com Cavini (2017, p.110) o período da Renascença foi marcado por dois princípios antagônicos: de um lado, os estudantes da velha estrutura musical pitagórica que pretendiam repensar a música nos moldes do homem moderno; e do outro, indagadores e músicos como Gioseffo Zarlino, defensores de novas técnicas e teorias para a Música.

Gioseffo Zarlino de Chioggia (1517 – 1590), teórico musical e compositor italiano, codificou e sintetizou toda teoria musical no Renascimento, classificou instrumentos musicais, definiu as regras para composição e afinação de escalas, ampliou o número de consonâncias pitagóricas incluindo mais dois números inteiros na formação de escalas. Através da percepção auditiva, método empírico defendido por Aristoxeno, Zarlino obteve afinações consideráveis para as terças maiores e menores. (HENRIQUE, 2007, p.19) Abdounur (2006, p.45) relata que Zarlino preconizou a tríade (tônica, terça e quinta) como um sistema de acorde perfeito. Além disso, esse mesmo autor explica que o teórico italiano incluiu o número 5 como fator primo nas correspondências de frequências pitagóricas. Com isso, desenvolvia-se uma nova escala musical. A Gama de Zarlino, que substituiu a terça pitagórica $64/81$, por $4/5$, a sexta $16/27$ por $3/5$ e a sétima $128/243$ por $8/15$.

Ilustração 3: Gama ou Escala de Zarlino.

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

Fonte: Figura do autor

O século XVII, segundo Henrique, (2007, p.20) é considerado o “Século dos Gênios”, neste período estabeleceu – se importantes avanços científicos e artísticos. Um dos nomes mais importantes é Galileu Galileu (1564 – 1642), físico, matemático que;

[...] expôs a dedução quantitativa da lei das cordas estabelecendo as relações entre frequência, comprimento, diâmetro, densidade e tensão. Abordou também a ressonância e a vibração por simpatia e mostrou que os intervalos musicais podiam ser caracterizados pelas relações de frequências dos sons. Apresentou uma explicação para a origem da consonância e dissonância ainda hoje considerada actual. (HENRIQUE, 2007, p. 20).

Abdounur (2013) citado por Grillo e Perez (2016, p. 43) relata que Vincenzo Galilei, músico, professor e teórico musical, defendia que o fundamento da música está no som e não em números. Esta perspectiva sobre a Música ganha novos seguidores, inclusive Galileu Galilei, inspirado pelo pai, descobriu que a altura dos sons se relacionava com o conceito de frequência. De acordo com Grillo e Perez (2016, p.41) Vincenzo, pai de Galileu evidencia os problemas da escala pitagórica e dá início a importantes estudos sobre os intervalos musicais, que mais tarde, com Johann Sebastian Bach, resultaria na escala temperada. O pensamento pitagórico sobre a Música foi essencialmente confrontado por Galileu Galilei em 1663, segundo Abdounur (2006, p.29) os intervalos musicais dependiam das “razões dos números de vibrações e impactos de ondas sonoras que atingiam o tímpano. ”

Galileu, considerado o pai da Acústica experimental, estudou as oscilações de pêndulos e através destes experimentos fez a “dedução quantitativa das leis das cordas estabelecendo as relações entre frequência, comprimento, diâmetro, densidade e tensão” (HENRIQUE, 2007 citado por GRILLO e PEREZ 2016, p. 46).

Segundo Abdounur (2006, p.29) a física da música tem seu início no século XVII quando Galileu percebeu que a altura musical se vincula diretamente a concepção de frequência. A ideia de Galileu ajudou na compreensão dos harmônicos musicais, ou seja, a hipótese da existência de múltiplas frequências harmoniosas soando como apenas uma e que fornecia a característica ou timbre de uma fonte sonora.

De acordo com Caznok (2003, p. 32), na obra *Harmonie Universalle*, 1637, Martin Mersenne (1588-1648) desenvolve um importante estudo sobre os princípios básicos do som, relacionando as cores escuras a frequências baixas e cores claras a frequências altas. Na tentativa de explicar o fenômeno dos harmônicos do som, Mersenne introduziu a seguinte contradição: “Como poderia uma corda – portanto um comprimento de corda – produzir mais de uma altura ao mesmo tempo? ” (ABDOUNUR, 2006, p. 32).

Segundo Abdounur (2006, p.32) a resposta para esse questionamento não poderia ser respondida somente no âmbito do pitagorismo. Diante dessa ideia, John Wallis, em 1677 fez experimentos utilizando cordas vibrantes que confirmariam a combinação de harmônicos do som e as distintas configurações de nós causadores dos modos de oscilações da corda.

O matemático, astrônomo e filósofo Johannes Kepler (1571 – 1630), assim como, Mersenne e Zarlino, defendia a ampliação do número de consonâncias, estabelecidas primeiramente por Pitágoras. Kepler, examinou empiricamente a seguintes consonâncias: “unísono (1/1), oitava (2/1), quinta (3/2), quarta (4/3), terça maior (5/4), terça menor (6/5), sexta maior (5/3) e sexta menor (8/5).” (ABDOUNUR, 2006, p.63)

Kepler baseava-se no sistema de escala musical antigo, onde a velocidade dos planetas relacionava-se com as frequências emitidas. A Segunda Lei de Kepler afirma que os planetas varrem áreas iguais em tempos iguais, a consequência disso seria máxima velocidade no periélio e mínima no afélio. De acordo com Abdounur (2006, p.63), Kepler defendia que altas velocidades dos planetas eram notas agudas e velocidades baixas notas graves. “[...] as velocidades no periélio e afélio de Saturno são respectivamente 135 e 106 arcos de segundo por dia, o que significa uma relação de 135/106. $135/106 = 5/4$ correspondente ao intervalo de terça maior.” (ABDOUNUR, 2006, p.64).

A Física estabeleceu significativas relações com a Música nos trabalhos do matemático francês Joseph Saveur (1653 – 1716) que, apesar de ser Deficiente Auditivo, foi o primeiro a calcular o número total de oscilações de um som e a frequência dos batimentos concebidos por duas notas. Tanto Henrique (2007) citado por Grillo Perez (2016, p. 47) como Abdounur (2006, p. 33) e Lindsay (1973) citado por Henrique (2007, p. 24) relatam que Saveur foi considerado o pai da Acústica quando resolveu o paradoxo introduzindo por Mersenne, explicou o fenômeno dos harmônicos respaldando-se no Princípio da Superposição, foi o primeiro a anunciar o conceito físico de harmônico a partir da oscilação de uma corda tensa e de som fundamental, principiou a ideia de nodo e de ventre para descrever as ondas estacionárias nas cordas, atestou que a corda é capaz de vibrar com múltiplos harmônicos ao mesmo tempo. Além disso, Saveur notou que os construtores de

órgão musical daquela época, já tinham descoberto a existência dos harmônicos, visto que, combinavam os sons no intuito de conseguir diferentes timbres.

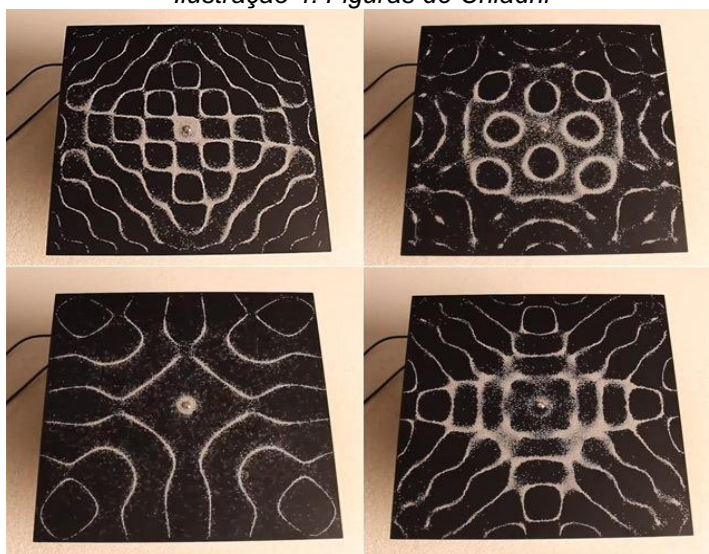
O físico, matemático, jornalista e teórico francês, Louis-Bertrand Castel (1688-1757), “argumentava firmemente que a luz, tal como o som, seria um produto de vibrações e que, assim, a cor e som musical seriam análogos por natureza.” (CAZNOK, 2003, p. 36). Ainda em Caznok (2003, p. 37) verifica-se que Castel, num período de trinta anos, pesquisou e desenvolveu um aparelho que pudesse mostrar a relação entre cor e som, o “teclado ocular”, onde o princípio era relacionar as cores do espectro visível à série harmônica, indicando concordância com estudos mais científicos sobre Acústica e temperamento musical.

Outro explorador que contribuiu para o entendimento do fenômeno do som foi Leonhard Euler (1707 – 1783), matemático suíço afirmava que no temperamento igual, a escala musical não tinha consonâncias originais, dado que apesar da percepção auditiva da quinta na razão 3 para 2, o valor real igualmente temperado soava no ambiente como $2^{7/12}$ (ABDOUNUR, 2006, p.34).

Jean Lê Rond d’Alembert (1717 – 1783) filósofo e matemático francês descobriu que o comprimento de uma corda tensionada e fixa era inversamente proporcional a frequência. Conforme aponta Abdounur (2006, p. 35) d’Alembert afirmava que o som de uma nota musical e todas as variedades de vibrações não seriam absolutos, mas sim composto por inúmeros harmônicos de uma série.

Ernest F. F. Chladni (1756 – 1827) desenvolveu um meio de observação das vibrações em corpos rígidos. As “figuras de Chladni” são imagens formadas por areia fina em cima de placas ou superfícies que vibram. No entanto, Chladni não tinha uma explicação matemática para o fenômeno, as equações diferenciais de quarta ordem para as tais ilustrações que se formavam nas placas, foram deduzidas pela francesa Sophie Germain (1776 – 1831) e G. R. Kirchhoff (1824 – 1887) que em 1850 estabeleceu as condições de limites corretos na equação. (HENRIQUE, 2007, p. 26)

Ilustração 4: Figuras de Chladni



Fonte: <https://hypescience.com/incrivel-experimento-com-ressonancia/>

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821 – 1894) físico, médico e cientista alemão fez importantes estudos sobre a audição, visão e diversos tópicos da Física. No campo da Acústica, Helmholtz escreveu a obra “Estudo das Sensações Sonoras com Base Psicológica para a Teoria Musical”, considerado a mais significativo estudo na área. Além disso, o físico alemão realizou a medição da velocidade dos impulsos nervosos, descreveu o aparelho do ouvido médio, criou uma teoria da audição sobre o desempenho no interior do ouvido, estudou o som das vogais e produção da voz, abordou a essência da Acústica que possibilitou esclarecimentos sobre consonância e dissonância, teoria aceita até os dias atuais (HENRIQUE, 2007, p. 30).

Heirish Rudolf Hertz (1857 – 1894) segundo Henrique (2007, p. 31) estudou com Helmholtz, descobriu o efeito fotoelétrico, colaborou no desenvolvimento da teoria das ondas eletromagnéticas demonstrando a lei da propagação de ondas, reflexão, refração e polarização. Confirmou a previsão das equações de Maxwell e por suas contribuições a Ciência, a unidade de medida de onda recebeu o seu nome, Hertz (hz).

3.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA ENVOLVENDO FÍSICA E MÚSICA

A pesquisa encontrou trinta e nove publicações acadêmicas, artigos, monografias e dissertações relacionados ao tema Física e Música. Boa parte deste material, são sequências didáticas, propostas didáticas, recursos didáticos, estratégias didáticas, produtos educacionais, unidades didáticas e planos de aula.

O trabalho analisa nove destes trabalhos, considerando a presença marcante da atividade musical, utilização de instrumentos musicais, experimentos de acústica, recursos tecnológicos de edição e produção de áudio, canções e recursos audiovisuais.

3.2.1 Resumo dos Trabalhos

O primeiro artigo “Proposta didática para o ensino do som” desenvolvido pelos autores Abril, Arévalo e Ianchel (2010), tem como tema central o som, objetivo geral apresentar uma sequência didática para o ensino do som. As bases teóricas deste trabalho são: Pozo e Gómez (2009) citado por Abril, Arévalo e Ianchel (2010) afirma “ao passo do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico por meio da mudança de suportes epistemológicos, ontológicos e conceituais”. Em Machado (2002) citado por Abril, Arévalo e Ianchel (2010) utiliza-se a proposta de “enxergar o exercício na sala de aula como uma rede de significados” Abril, Arévalo e Ianchel (2010) respaldam-se em Flavell e Gustone (1998) que consideram a “metacognição tanto no âmbito do reconhecimento do conhecimento construído, como sobre a consciência de construir tal conhecimento e o controle sobre os processos de construção.” Os conceitos abordados são: Tom, timbre, intensidade e o som.

A metodologia é dividida em quatro fases, contextualização do som, produção do som, propagação do som e estudo sistemático do som. Utiliza-se questionários, experimento com violão, construção de instrumentos musicais, experimento com vela e caixa de som, uso de software e outros programas para dispositivos móveis e computador. Um resumo do roteiro pode ser consultado no APÊNDICE A.

O segundo trabalho com o título “O som da Física – a presença essencial da música no aprendizado da Acústica” é uma dissertação de mestrado desenvolvida por Chierecci (2013) tem como objetivo apresentar conteúdos de Acústica presentes

na disciplina de Física no Ensino Médio, explorando a vivência dos alunos sobre Acústica Musical e Música. A base para a produção deste trabalho, é construída através de procedimentos metodológicos da pesquisa qualitativa, ou seja, o trabalho utiliza vários autores como referência bibliográfica, a maioria deles dentro do campo de pesquisa Física e Música.

Os conceitos abordados são: fontes de ondas sonoras, frequência, comprimento de onda, velocidade de propagação, psicoacústica, intensidade sonora, consonância, dissonância, intervalos, acordes musicais, harmônico e timbre.

A metodologia envolve questionário, debate com alunos, reprodução de áudio e vídeo, recursos da internet, softwares, violão, guitarra, data show, celular, tablet, rádio e experimentos. O material foi primeiramente apresentado no XX Simpósio Nacional de Ensino de Física em um curso chamado de “O som e suas músicas” teve como público-alvo; professores e estudantes de Física. No primeiro encontro foi apresentado o projeto aos participantes, no segundo e terceiro encontro foi constituído de debates sobre a proposta didática que serviu como parâmetro para aplicação futura em aulas com alunos do Ensino Médio. Um resumo do roteiro encontra-se no APÊNDICE B.

O terceiro trabalho analisado é: “Proposta de sequência didática aplicando um monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos de física ondulatória.” Os autores Coelho e Piloto (2016) exploram a Física, Ondulatória e Música. Tem como objetivo apresentar uma sequência didática para o ensino e aprendizagem da Ondulatória para alunos do segundo ano do Ensino Médio. A base teórica é estruturada na Aprendizagem Significativa de Ausubel, que preconizou o termo “subsunção”. No contexto deste trabalho, os autores utilizam um conhecimento musical preexistente como estrutura sobre a qual são desenvolvidos os conceitos físicos (COELHO e PILOTO, 2016, p.4). Os autores exploram nesta sequência didática a velocidade de propagação da onda, comprimentos de onda, frequência de oscilação, ressonância, harmônicos e timbre.

A metodologia envolve ferramentas como o violão, o monocórdio, software gratuito CmapTools, simulador de ondas do PHeT Colorado, aplicativo afinador Guitar Tuner (opcional), computador, celular, tablet, microfone, questionário, Google Forms, mapa conceitual, lista de exercícios, roteiro experimental e blog de apoio ao

projeto. Um resumo do roteiro pode ser consultado no APÊNDICE C. O roteiro experimental na íntegra, cronograma e lista de exercícios, é disponibilizado no endereço eletrônico <https://sites.google.com/site/introducaoaondulatoria>

O quarto trabalho “Sequência Didática Para o Ensino de Acústica” é um artigo escrito por Ferreira, Da Silva Rocha e Da Silva Filho (2019), com o tema Ensino de Acústica, tem como objetivo apresentar uma sequência didática para o ensino de Acústica para alunos do Ensino Médio, bem como propor indicadores de avaliação sob a ótica da Aprendizagem Significativa de Ausubel e dos modelos mentais de Johnson-Laird.

David Ausubel (1968) citado por Ferreira, Da Silva Rocha e Da Silva Filho (2019, p.29) tem “uma visão cognitivista, define a aprendizagem como a organização e integração de novos materiais na estrutura cognitiva do aprendiz.” Segundo Ferreira, Da Silva Rocha e Da Silva Filho (2019, p.30) a teoria de Ausubel diz que a Aprendizagem Significativa deriva dos conhecimentos prévios relacionados as novas informações. Aquilo que os alunos já sabem são os elementos “subsunçores” servem de ganchos para um novo conhecimento. Quando houver pouca ou nenhuma conexão entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio, a aprendizagem é definida como “aprendizagem mecânica”.

Os modelos mentais de Johnson-Laird (1983) citado por Ferreira, Da Silva Rocha e Da Silva Filho (2019, p.30) são descritos “como representações internas do mundo externo, sendo majoritariamente analógicas e dinâmicas uma espécie de simulação mental do mundo.” Na perspectiva de Johnson-Laird, aprender é fabricar modelos mentais, ensinar é contribuir para o desenvolvimento destes modelos mentais.

Os materiais e métodos didáticos utilizados na referida sequência didática são: computador, acesso à internet, software, ferramentas de produção/edição de áudio, projetor multimídia, caixas de som, conjunto de diapasões, flauta, violão, questionário, discussão, experimentação com instrumentos musicais, leitura de textos e aulas expositivas. Um resumo do roteiro pode ser verificado no APÊNDICE D.

O quinto trabalho “Sequência Didática: Uma alternativa para o ensino de acústica no ensino médio” é uma dissertação de mestrado de Mazeti (2017), que apresenta uma sequência didática dividida em quatro módulos. Aplicada em uma

escola particular na cidade de Itu – SP para vinte e dois alunos do segundo ano do Ensino Médio, num período de quatro semanas. Têm como tema principal a Acústica, o objetivo é propor uma sequência didática que colabore com a prática pedagógica de professores de Física e Ciências Naturais. O conteúdo abordado envolve ondas sonoras, qualidades sonoras, fenômenos das ondas sonoras e ondas nos instrumentos musicais.

O referencial teórico é baseado na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, que segundo Mazeti (2017, p. 40), “tenta explicar o processo de aprendizagem através da estrutura cognitiva do aluno.” ou seja, o processo de ensino parte daquilo que o aluno já sabe sobre um determinado assunto.

A metodologia de Mazeti (2017, p. 44) é estruturada na validação de sequências didáticas de Giordan e Guimarães (2011), que por sua vez, apresenta em seus trabalhos a “Engenharia didática”, uma metodologia caracterizada em forma de pesquisa que possui cinco fases:

- a) Análise preliminar, onde se faz um estudo sobre os conceitos a serem estudados e como se dá o aprendizado desse tema;
- b) Concepção e análise *a priori*, onde se monta efetivamente a sequência didática, determinando quais objetivos ela deve atender;
- c) Aplicação da sequência didática, onde se aplica a sequência com a metodologia de coleta de dados adequada;
- d) Análise *a posteriori*, onde se tabula os dados obtidos e organiza-os;
- e) Validação, onde se compara os dados *a priori* com os dados *a posteriori*. (MAZETI, 2017. p.46).

Um resumo da estratégia e roteiro da aula encontram-se no APÊNDICE E

O sexto trabalho “Música como recurso didático para ensino de Impulso e Quantidade de Movimento” um artigo com autoria de Gomes, Do Carmo e Santos (2018), publicado na South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, periódico de publicação digital da Universidade Federal do Acre.

O tema central é Física e Música, o objetivo é apresentar uma sequência didática utilizando a música como recurso didático para o ensino de Física, mais precisamente impulso quantidade de movimento.

A fundamentação teórica de Gomes, Do Carmo e Santos (2018) é organizada em diversos autores. Dentre eles podemos destacar Faria citado por Moreira (2014) estabelece que é importante um longo convívio do aluno com a música para facilitar a aprendizagem. Caroline Ponso citada por Moreira (2014) diz que a Música é um

conhecimento científico que ajuda, age mutualmente, aperfeiçoa e é compreendida em conjunto com a Matemática, Literatura e História. Bréscia (2003) citado por Gomes, Do Carmo e Santos (2018, p. 19) faz uma breve abordagem histórica sobre as ideias de Pitágoras.

Esta sequência foi aplicada em uma turma do primeiro do Ensino Médio na Escola Dr. Santiago Dantas, localizada na cidade Rio Branco, Acre. Segundo Gomes, Do Carmo e Santos (2018) seriam duas aulas com duração de cinquenta minutos cada, divididas em quatro etapas, a primeira consiste em apresentação dos conceitos, expressões sobre impulso e quantidade de movimento com exemplos do cotidiano. Na segunda, discussão dos exercícios propostos e resolução por parte dos alunos. A terceira, apresentação da música sobre o tema da aula. E por fim, a quarta parte seria aplicação de questionário para coleta de dados sobre a atividade.

A música utilizada como proposta nesta sequência didática, na verdade é uma paródia que utiliza a melodia e ritmo de uma música conhecida, mudando a letra original por uma nova letra. Neste caso, a releitura é sobre impulso e quantidade de movimento, conceitos de Física que substituíram a letra original:

Quer passar? Quer passar? Agora eu vou te ajudar.
Pegue a sua caneta e o cadernão e escreva a
equação Força vezes tempo é o impulso meu Irmão
Não para, não para, não para não (2x) Vamos
continuar. Escreva nesse momento Massa vezes V é a
quantidade de movimento Não para, não para, não
para não (2x) Pra passar tem que estudar

Então não para, não para, não para não (GOMES; DO CARMO; SANTOS, 2018, p. 21).

A sétima obra “Ensino de Acústica: Uma sequência Didática para auxiliar o Ensino de Intensidade e frequência sonora, baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa.” É uma monografia de Stiglin (2014), possui o tema Acústica, com objetivo de utilizar uma sequência didática para abordar o som grave, som agudo, volume, intensidade, fonte e propagação de onda sonora.

Os Materiais e métodos utilizados são: discussão e questionário, nesta fase o autor pretende investigar aquilo que o aluno já sabe sobre o tema. Perguntas como

“O que difere o Rock e o Funk brasileiro?”. Stinglin (2014, p. 17) convida os alunos para o debate sobre diferenças entre estilos musicais. O autor recomenda o uso de reproduzidor de áudio e caixa de som com woofer, para uma melhor distinção entre sons graves e agudos.

A base teórica é a “aprendizagem significativa” de Ausubel, que introduziu o termo “subsunção”, nome dado a “estrutura de conhecimento específica ao qual o novo conhecimento vai interagir.” (STINGLIN, 2014, p.8)

Stinglin (2014, p.9), sob a luz de Ausubel, explica que a aprendizagem pode ocorrer de duas maneiras, aprendizagem mecânica “é a aprendizagem por recepção que ocorre quando o conhecimento é apresentado pronto ao aprendiz” e aprendizagem significativa “é a aprendizagem por descoberta que ocorre quando o conhecimento deve ser descoberto pelo indivíduo.” As duas formas de aprendizagem, por recepção e por descoberta tem a sua contribuição para o desenvolvimento cognitivo. Aprendizagem mecânica ocorre mais nos primeiros anos de vida e a aprendizagem significativa passa a ocorrer quando o indivíduo adquire o amadurecimento cognitivo.

São duas aulas que podemos resumir aqui. Na primeira aula é feita a discussão prévia com os alunos sobre Física e Música usando um questionário. Na segunda aula o professor tenta explicar os principais conceitos abordados em uma aula expositiva usando a música “Dark Horse”, cantada por Katy Perry e Juicy J. Segundo Stinglin (2014, p. 17) a música escolhida “tem elementos musicais fáceis de perceber, além de ser uma música atual e conhecida.” que ajudam na distinção dos graves e agudos.

O oitavo trabalho “Proposta do uso da Música no ensino de Física” é uma monografia desenvolvida por Swarowsky (2018). O tema é Música e Física, o objetivo é apresentar uma proposta didática utilizando recursos audiovisuais, tecnológicos de espectros musicais para o ensino de Física.

Swarowsky (2018, p 24), constrói a sua base teórica através de pesquisa em dissertações de mestrados, onde analisa-se a presença da Música nos “produtos educacionais de Física”. A ideia central do trabalho é expor as semelhanças entre o conhecimento de produtores musicais e professores de Física.

Ainda em Swarowsky (2018, p.35) é relatado o escasso material específico para o ensino da Física através da Música, no entanto, o autor sinaliza que as

propostas apresentadas são ricas e oferecem diversas opções para se trabalhar em sala de aula.

Os materiais e métodos utilizados são: Desenvolvedor e editor de áudio Software Fruity Loops Studio com os plug-ins 3xOSC, Parametric EQ2 e Edison. Computador, sistema de áudio com caixas de som, reprodução de vídeos, experimentos, debate, questionamentos, mapa conceitual e uma breve abordagem histórica. A metodologia audiovisual pode ser aplicada com “alunos normais” e também com “deficiência auditiva” (SWAROWSKY, 2018, p.36). Os conceitos abordados são frequência, comprimento de Onda, harmônicos e interferência.

Esta sequência didática de curta duração, duas ou três aulas, pode ser resumida neste subcapítulo. No primeiro momento é apresentado aos alunos gráficos de amplitude versus tempo fazendo alguns questionamentos: “Em qual das imagens temos um som mais agudo? Por que?” (SWAROWSKY, 2018, p.38).

Na sequência, os alunos devem analisar diferentes ondas produzidas por bumbo de bateria (kick) e chimbau de bateria fechado (hi-hat closed) no programa Fruity Loops Studio. Nesta parte da aula, os alunos exploram diferentes valores de frequência: para o bumbo frequências baixas e para o chimbau frequências altas. Outra análise possível, de acordo com Swarowsky (2018, p.40) seria rodar uma música dentro do programa Fruity Loops Studio e, através do equalizador, diminuir valores de frequência e observar quais instrumentos que “sumiriam” da música.

O próximo passo indicado na proposta didática tenta explicar o fenômeno de harmônico através da análise de ondas onda seno, onda triangular, onda quadrada utilizando um plugin de software, o 3x OSC. Em resumo o aplicativo mescla as ondas sonoras e indica os harmônicos.

Esta sequência didática propõe ainda, uma atividade experimental que, a grosso modo, seria análise de formação de ondas em cordas, mola maluca e espiral de apostila. No referido experimento, os alunos devem observar as ondas formadas e responder um questionário proposto. Dando continuidade na aula é apresentado três vídeos aulas desenvolvidos pelo autor da sequência didática onde se discute, frequência, harmônicos sonoros e interferência de ondas. Novamente é aplicado questionário sobre o conteúdo dos vídeos.

Por fim, aos alunos devem elaborar mapas conceituais sobre o conhecimento adquirido. A partir do exame dos mapas dos alunos o professor deve mostrar os

pontos relevantes que devem compor o mapa conceitual. Nesse sentido, o autor apresenta um mapa conceitual desenvolvido de acordo com as atividades.

O nono e último trabalho analisado “A Física da música e a Pluralidade Didática” é uma dissertação de mestrado defendida por Lérias (2016). Possui o tema Física e Música, tem o objetivo de propor um exemplo de sequência didática para o ensino de Física.

O trabalho está fundamentado na pluralidade metodológica de Paul Feyerabend, defensor da “inexistência e a impossibilidade de se utilizar um método único para a exploração científica” (LERIAS, 2016, p. 17). Baseia-se também na teoria das Inteligências Múltiplas do psicólogo Howard Gardner, defensor da ideia de que “podemos avaliar de que modo os indivíduos são inteligentes analisando-os a partir do trabalho em conjunto com esses modos de inteligência e não isoladamente.” (LERIAS, 2016, p. 18). Tem ainda como base teórica a ideia dos “modelos mentais” de Johnson e Laird (1983) que segundo Lérias (2016, p. 19) indica que o indivíduo estabelece conexões com o meio através de representações mentais para compreendê-lo e analisá-lo.

Tanto a Música, quanto a Física utilizam a linguagem matemática para se expressar, por isso o aperfeiçoamento é tão importante. Lérias (2016) utiliza várias referências: Saviani (2003), Nogueira (2003), Moran (1996), D’Ambrosio (1986) dentre tantos, cada um com sua contribuição teórica, podemos destacar a teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, segundo Moreira (1999) citado por Lérias (2016, p. 22) “Os novos conhecimentos que se adquirem se relacionam com o conhecimento prévio que o aluno possui”.

A metodologia da sequência didática proposta por Lérias (2016, p. 25), é dividida em quatro aulas. São utilizados quadro giz, cordas, barbantes, diapasões, copos de cristal, violino, violão, xilofone, flautas doce e transversal, garrafas pet, conjunto de tubos sonoros “tubos de Bach”, experimento de ondas estacionárias em cordas, meia lua, microfone, projetor multimídia, computador com simuladores de ondas Oscilloscope 2.51 (Winscope) e Audacity 2.0.3, caixa de som, régua e trena. Um resumo do roteiro e estratégia para a aplicação encontram-se no APÊNDICE F.

3.2.2 Síntese dos Trabalhos

A atividade musical na abordagem de conceitos físicos é marcante nos nove trabalhos citados. A maioria dos autores exploram o conteúdo da Acústica, exceto Gomes, Do Carmo e Santos (2018) que aborda Impulso e Quantidade de Movimento.

A Aprendizagem Significativa de David Ausubel é a teoria mais citada como embasamento teórico, nessa perspectiva os autores utilizam o conhecimento musical prévio dos alunos conectando-os aos conceitos físicos que se pretende estudar. A Pesquisa Qualitativa é marcante em Abril, Arévalo e Ianchel (2010), Chierecci (2013), Gomes, Do Carmo e Santos (2018), Swarowsky (2018) e Lérias (2016). Nesse aspecto, as ideias corroboram o envolvimento da Música com a Física. Ainda em Lérias (2016), são utilizados os Modelos Mentais de Johnson-Laird, que basicamente seriam conexões mentais do indivíduo com o meio, a Pluralidade Metodológica de Paul Feyerabend, onde não se considera um único método de estudo e a Inteligências Múltiplas de Howard Gardner, que defende a existência de diferentes capacidades intelectuais: inteligência musical, espacial visual, lógico-matemática, linguística, interpessoal, intrapessoal, naturalista e corporal.

Abril, Arévalo e Ianchel (2010), Chierecci (2013), Coelho e Piloto (2016), Ferreira, Da Silva Rocha e Da Silva Filho (2019), Swarowsky (2018) e Lérias (2016) possuem uma metodologia que envolve pré questionário, debate, utilização e construção de experimentos musicais, instrumentos musicais, uso de softwares de produção e edição de áudio, amplificador, caixas de som, dispositivos eletrônicos como computador, celular, tablet, lista de exercício, mapa conceitual, leitura de textos e aulas expositivas. Já em Mazeti (2017), a metodologia engloba a utilização de imagens seguidas de questionamentos, discussão em grupo, resolução de exercícios de vestibular e ENEM, atividade com instrumentos musicais, análises de tabelas decibel e leitura de textos. Gomes, Do Carmo e Santos (2018) utiliza como metodologia aula expositiva, resolução de exercícios, paródia musical e questionário final. Os recursos metodológicos de Stiglin (2014) são: a discussão, pré-questionário e reprodução de áudio musical em caixa de som com woofer.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos dizer que alcançamos o objetivo geral que era analisar a utilização da Música no ensino e aprendizagem da Acústica e Ondulatória.

A hipótese de que a Música pode contribuir no ensino e aprendizagem de Física foi confirmada tanto na revisão bibliográfica histórica e filosófica, como também, na pesquisa em trabalhos acadêmicos e Sequências Didáticas.

A busca bibliográfica através do tempo, nos primórdios da civilização encontrou relatos de atividade musical junto as comunidades antigas. Não se sabe ao certo em que ponto da história o homem começou a entender e produzir música, entretanto, os artefatos musicais encontrados na França, Alemanha e Eslovênia, construídos a pelo menos 35 mil anos, indicam a utilização de flautas em atividades de caça. Nos rituais religiosos e espirituais, a música foi marcante e moldou-se conforme a cultura dos povos do Oriente e Ocidente.

Esta pesquisa mostra que o desenvolvimento da Música foi preconizado por diversos estudiosos. Os teóricos da música dividiram-se, de um lado, músicos guiados pelos sentidos, exímios virtuosos, percebiam e sabiam como trabalhar os intervalos musicais, a harmonia, escalas musicais, entretanto, não descreviam cientificamente o processo. Em contrapartida, músicos que utilizavam a Física, Matemática, Biologia, Química, Psicologia e explicaram a música de forma técnica, estes são os mais citados pelos autores.

O experimento com o monocórdio, considerado um dos primeiros experimentos da Física, proporciona uma atividade musical muito rica. Não descobrimos a natureza exata de sua invenção, mas o aparato de uma corda, serve perfeitamente para estudar, consonância, dissonância, ressonância, harmônicos, batimento, timbre, frequência da onda sonora, amplitude sonora, intervalos musicais, escalas musicais, intervalos musicais, série harmônica e série de Fourier.

Verificamos que o debate sobre consonância e dissonância ajudou na construção da teoria musical e Ondulatória. A abordagem destes conceitos são de extrema relevância na Acústica. A atividade musical pode ser voltada para a percepção auditiva, teórica ou ambas juntas. Cabe aqui, propor uma pesquisa futura sobre a utilização destas duas vertentes no meio musical. O propósito seria identificar possibilidades de ensino de Acústica, Ondulatória e Música.

As Sequências Didáticas analisadas mostraram-se excelentes propostas para o ensino e aprendizagem de Física e Música. Verificamos que, as práticas descritas nos trabalhos exploram o conhecimento musical prévio dos alunos. Ou seja, a experimentação proporciona o contato direto com diversas situações do cotidiano dos envolvidos.

Os recursos metodológicos da maioria dos trabalhos sugerem uma aprendizagem construtiva, repleta de significados. Ao contrário, o artigo “Música como recurso didático para ensino de Impulso e Quantidade de Movimento” apresenta uma abordagem limitada. O exercício mnemônico ainda é muito utilizado nas escolas, nas Universidades, até mesmo nas pesquisas.

A maioria dos trabalhos fazem pouca ou nenhuma abordagem histórica, filosófica em sala de aula. A História e Filosofia da Ciência é referência para qualquer pesquisador. É através dela que assimilamos os fatos que moldaram o mundo, as influências políticas, religiosas, filosóficas, econômicas e o papel do Homem na Natureza e a sua transformação.

REFERÊNCIAS

ABDOUNUR, O. J. **Matemática e música**: o pensamento analógico na construção de significados. 4ª ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 333.

ABRIL, O. L. C.; ARÉVALO, D. F. V.; IACHEL, G. Proposta didática para o ensino do som. **II Simpósio Nacional de Ensino Ciência e Tecnologia**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná -UTFPR, n.86, p.1-15, 2010.

AGUIAR, C. E. R. Platão: contribuições da música na formação do cidadão. **Moderna**, In: "Existência e Arte" - Revista Eletrônica do Grupo PET – Ciências Humanas, Estética e Artes da Universidade Federal de São João Del-Rei, ano III, n.º III, jan/dez, 2008

ALVARENGA, L. G. **Breve tratado sobre o som e a música**. Goiânia, CERNE, 1992, p. 420.

CAVINI, M. P. **História da Música Ocidental**: uma breve trajetória desde a Pré-História até o século XVII Volume 1. 2017. Disponível em: <<http://sistemas7.sead.ufscar.br:8080/jspui/handle/123456789/2753>>. Acesso em: 21 abr. 2020

CAZNOK, Y. B. **Música: entre o audível e o visível**. 1. ed. São Paulo, Unesp, 2004. p.232.

CHIERECCI, R. **O som da física – a presença essencial da música no aprendizado de acústica**. 2013. 224 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física – Instituto de Química – Instituto de Biociências – Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, 2013.

COELHO, A. L. M. D. B.; POLITO, A. M. M. Proposta de sequência didática aplicando um monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos de física ondulatória. **Physicae Organum**, v. 2, n. 2, 2016.

FERREIRA, M.; DA SILVA ROCHA, J. V.; DA SILVA FILHO, O. L. Sequência didática para o ensino de Acústica. **Physicae Organum**, v. 5, n. 1, p. 27-38, Brasília, 2019.

FREDERICO, E. **Música: Breve História**. São Paulo: Irmãos Vitale, 1999. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ZG6q_MeAR8cC&oi=fnd&pg=PA5&dq=FREDERICO,+E.+M%C3%Basica+Breve+Hist%C3%B3ria&ots=uQdTqLPTJB&sig=qsO0tYe6xSEXCA1xabE8c6kkrM#v=onepage&q=FREDERICO%2C%20E.%20M%C3%Basica%20Breve%20Hist%C3%B3ria&f=false>. Acesso em: 06 jun. 2020.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Série Educação a Distância. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 2009. p.116

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008. p. 200

GOUVÊA, A. Ritmo em Aristóximo. **To Ελληνικό Βλέμμα – Revista de Estudos Helênicos da UERJ**, v. 1, n. 2, 2017.

Granja, C. E. S. C. **Musicalizando a escola: música, conhecimento e educação**. 1 ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 157.

GRILLO, M. L.; PEREZ, L. R. **Física e Música**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. Disponível em: <https://mnpef.blumenau.ufsc.br/files/2017/05/FisMus_Grillo_Perez.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2020

GROUT, D.J.; PALISCA, C.V. **História da Música Ocidental**. 5 ed. Lisboa: Gradiva, 2007. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/988/o/GROUT__PALISCA_-_Hist%C3%B3ria_da_M%C3%Basica_Ocidental.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2020

HENRIQUE, L. L. **Acústica Musical**, 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007, p.1130.

LERIAS, W. R. **A Física da música e a Pluralidade Didática**. Medianeira, 2016, 54 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Campo Mourão, 2016. [Orientador: Prof. Dr. César Henrique Lenzi]

LIMA, T. C. S.; Mioto, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica, **Rev. Katál.**, v. 10, n. esp, p. 37-45, 2007.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração e interpretação de dados. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2002. p.282

MAZETI, L. J. B. **Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica para o ensino médio**. 2017. 145 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017. [Orientador(es): Prof.^a Dr.^a Ana Lúcia Brandl, Prof.^a Dr.^a Fernanda Keila Marinho da Silva

Nevado, P. P. “Popper e a investigação: a metodologia hipotética - dedutiva”. **Instituto Superior de Economia e Gestão – ADVANCE Working paper**, n. 8, Dez., 2008, pp. 1-23. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/2564>>. Acesso em: 14 Abr. 2020.

ROCHA, J. F. (Ed.). **Origens e evolução das idéias da física**. SciELO-EDUFBA, 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=rEaqCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=Origens+e+evolu%C3%A7%C3%A3o+das+ideias+da+f%C3%ADsica&ots=yD6_cxF7sa&sig=FQHJENN7UWXBhHKgjZdCzjqVpm8#v=onepage&q=Origens%20e%20evolu%C3%A7%C3%A3o%20das%20ideias%20da%20f%C3%ADsica&f=false> Acesso em: 06 jun. 2020

ROCHA, R. Uma introdução à teoria musical na Antiguidade Clássica . In: Revista Eletrônica Via Litterae, Anápolis, v. 1, n. 1, p. 138-164, jul./dez. 2009. Disponível em <<https://www.revista.ueg.br/index.php/vialitterae/article/view/4565>>. acesso em: 19 maio 2020

SANTOS, B. M. Música como recurso didático para o ensino de Impulso e Quantidade de Movimento .**South American Journal of Basic Education, Technical and Technological** , v. 5, n. 2, 9 out. 2018.

STINGLIN, Douglas. **Ensino de Acústica: Uma sequência didática para auxiliar o ensino de intensidade e frequência sonora, baseada na teoria da aprendizagem significativa**. 2014. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

SWAROWSKY, R. L. **Proposta do uso da música no ensino de física**. 2018, 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2018.

TOMÁS, L. **Música e filosofia: a estética musical**. São Paulo, Irmãos Vitale, 2004. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=iXogepUq63AC&oi=fnd&pg=PA7&dq=TOM%C3%81S,+L.+M%C3%Basica+e+Filosofia:+Est%C3%A9tica+Musical&ots=y1u7pjZjGk&sig=brfKETB1nUFhXObAgiK5q8j9jog#v=onepage&q=TOM%C3%81S%2C%20L.%20M%C3%Basica%20e%20Filosofia%3A%20Est%C3%A9tica%20Musical&f=false>>. Acesso em: 06 jun. 2020

WISNIK, J. M. **O som e o sentido**. Uma outra história das músicas. 2 ed. São Paulo, Companhia das Letras, 1999, 285 pp.

APÊNDICES

APÊNDICE A - “Proposta Didática Para o Ensino do Som”

Os roteiros das aulas seguem a seguinte estratégia: Na primeira fase, ou aula é constituída de diálogos, reflexões, perguntas e respostas. É distribuído um questionário para ser analisado e debatido. Na segunda aula é feita a experimentação, para isso utiliza-se a exploração de um violão, construção de flautas com canudinhos e produção de diferentes instrumentos de percussão. Ainda nesta aula, faz-se um experimento com uma vela, tal atividade consiste em posicionar a vela acesa em frente a um alto-falante, a intenção é perceber as ondas sonoras que movimentariam a chama.

Na terceira fase é retomado o debate baseado em situações reais ou imaginárias. São lançadas perguntas do tipo: “Como seria gritar ou tocar um instrumento dentro da água?”, “Por que quando cai um raio, primeiro olhamos a luz e depois escutamos o som?” e “Por que não chega até nós o som das grandes explosões no espaço interestelar?”

A quarta e última aula é desenvolvida com ajuda do software Audioexplorer, programa de computador que permite plotar gráficos de frequência e amplitude, que por sua vez, poderão ser analisados através de relações matemáticas que ajudam na compreensão dos fenômenos sonoros.

APÊNDICE B - “O Som da Física – A Presença Essencial da Música no Aprendizado da Acústica”

A aplicação no Ensino Médio ocorreu em um colégio da rede privada na cidade de Santo André – SP, com a participação de 16 alunos em um curso de 5 aulas no contra - turno a tarde. Disponibilizou-se uma cartilha impressa para cada participante que auxiliava na montagem e desmontagem de todo material utilizado: computador, data show, caixa de som, alguns instrumentos musicais e filmagem. No primeiro encontro foi priorizado o debate com os alunos na intenção de evidenciar as experiências de cada um com o tema, inclusive a motivação do professor.

Os encontros foram subdivididos em módulos, no primeiro módulo “O som” discute-se sobre os sons percebidos no dia-dia: despertador, vozes do pai e mãe, batida da porta, água da torneira, micro-ondas etc... Para auxiliar na participação e imaginação dos alunos, reproduziu-se com sistema de áudio, alguns sons da natureza e de instrumentos musicais...

No segundo módulo explora-se os gostos musicais dos alunos, reproduz-se cada música através de pesquisas em sites, como o Youtube, analisando os estilos musicais e instrumentos em destaque. Aprofunda-se a discussão através da questão norteadora “Como terá surgido a música?”

No módulo 3 propõe-se uma análise do comportamento vibratório do som. Inicia-se o debate através da pergunta: “Onde podemos encontrar as ondas?” Dá-se alguns exemplos como “celular, televisão, rádio, micro-ondas, raio x, etc”. Reproduz-se a música “Como uma onda no mar” de Lulu Santos e Nelson Motta, a intenção é verificar características e fenômenos ondulatórios na letra e identificar os instrumentos musicais. Um instrumento em destaque nesta canção é a guitarra slide, que foi utilizada pelo professor para explicar a divisão de corda e altura do som.

Ainda nesse módulo, é reproduzido uma onda transversal com ajuda de uma mola, pretende-se com essa atividade a visualização das características de uma onda “mostrou-se visualmente que o aumento da frequência de uma onda tem como consequência a diminuição de seu comprimento de onda, analogamente conclui-se que diminuindo a frequência aumenta-se o comprimento de onda” (CHIERECI, 2013, p.84).

É reproduzido o vídeo “Ola” de uma torcida em um estádio como exemplo para discussão, análise e cálculo de propagação de onda. Nesse mesmo contexto, propõe-se um exercício que relaciona notas musicais produzidas por diapasões e suas respectivas frequências.

No módulo quatro discute-se a trajetória do som através de questionamentos do tipo: “Como o som chega aos nossos ouvidos?”. Além disso é apresentado um vídeo onde um apresentador de TV, de forma muito divertida, usa o gás hélio para deixar a voz mais aguda e gás hexafluoreto para tornar a voz mais grave. Este exemplo enfatiza tipos de fonte sonora, meios e velocidades de propagação.

Outro vídeo usado foi uma parte de um filme de faroeste onde um índio encosta o ouvido no trilho para estimar a aproximação do trem. Este exemplo segundo Chierecci (2013, p.91) foi usado para contextualizar as relações existentes entre velocidade de propagação, frequência de vibração e comprimento através da Equação de Onda.

Usando um violão, demonstra-se a variação do som quando se muda o comprimento da corda. Compara-se o som da corda solta e quando esta mesma corda é pressionada na primeira casa no braço do instrumento, pergunta-se: “O que mudou na corda?” Espera-se que os alunos assimilem a relação entre comprimento e frequência. A mesma discussão é feita, só que desta vez, com o uso de pífano, flauta doce, cavaquinho e tambores com diferentes tamanhos. Outra atividade usada neste módulo foi o telefone feito com fio e copos, experiência divertida que pode auxiliar no entendimento da propagação do som.

O módulo cinco, chamado de “Os caminhos do som” também se inicia com debate, questionamentos e reflexões sobre eco e reverberação. Neste contexto, o autor propõe um exercício vestibular, trata-se da distância mínima para que ocorra o eco. Outros efeitos no som, especialmente efeitos de guitarra foram demonstrados com ajuda do software REASON 4.0, programa usado em produção e edição de áudio.

No módulo seis, estuda-se ondas estacionárias em uma corda, superposição de ondas e interferências com ajuda de um site do MEC, um portal para o professor onde é possível fazer combinações de ondas sonoras que resultam no fenômeno do batimento. Este fenômeno foi demonstrado com o intervalo de oitava, afinando e lentamente desafinando uma de duas cordas no violão e guitarra. Utilizando estes

instrumentos, argumenta-se sobre ressonância presente no violão e amplificação do som na guitarra, efeito possível graças ao magnetismo e eletricidade.

Neste mesmo módulo apresenta-se vídeos mostrando uma taça de cristal quebrando-se por efeitos de ressonância, vidraça estilhaçada pela força sonora de um avião supersônico, desabamento da ponte no Estreito de Tacoma, por causa do aumento de amplitude de vibração e corrida de Fórmula 1, exemplificando o efeito Doppler.

O módulo sete aborda a questão biológica e psicológica da interpretação do som. Para isso foi utilizado instrumento de percussão, o bongo quando atacado com as mãos na pele esticada, provoca-se um som na caixa acústica, de forma semelhante acontece dentro do ouvido, quando o tímpano é atingido por uma onda sonora. Uma corneta “vuvuzela” é utilizada na comparação do formato com o ouvido, além disso, uma experiência divertida é feita quando se coloca o ouvido na parte onde se assopra, ampliando a percepção dos sons. Ainda neste módulo trata-se da saúde auditiva e os efeitos da pressão atmosférica utilizando exemplos do cotidiano dos alunos.

No módulo oito os estudantes têm a oportunidade de conhecerem mais sobre os limites da audição humana. Inicia-se a aula através do seguinte questionamento “Quais as características fundamentais do som (onda sonora) para que ele seja percebido por um ouvido considerado saudável?” Novamente usa-se o bongo como exemplo, batendo levemente com as mãos tem-se uma onda sonora com baixa amplitude, uma batida mais forte provoca-se um aumento na amplitude da onda sonora. O exemplo da pedra caindo na água é lembrado, ou seja, um fato comum percebido pela maioria é que o tamanho da pedra influencia no tamanho da onda formada na água.

Os limites da audição humana, 20 Hz E 20.000 Hz, são demonstrados usando o Sound Forge 9, software usado na produção e edição de áudio. Com este recurso, dentro do limite humano foi possível ouvir algumas frequências e, fora do limite auditivo ver o formato de algumas ondas sonoras.

Novamente o violão é utilizado para análise e cálculo dos harmônicos de uma corda vibrante. Segundo Chierecci (2013, p.112) mostra-se com essa atividade que “a frequência da onda produzida em uma corda, e conseqüentemente do som

emitida por ela, será diretamente proporcional a tensão aplicada a ela e inversamente proporcional ao comprimento e à densidade linear da corda.”

A intensidade sonora é discutida neste módulo usando o Sound Forge 9, analisa-se espectros de ondas com intensidades diferentes, porém com frequências iguais, evidenciando a relação da intensidade com o volume. Utiliza-se algumas músicas para identificar variações nas intensidades, por exemplo, “Bolero de Ravel” verifica-se através da percepção auditiva o aumento da intensidade e através do software, verifica-se graficamente o aumento expressivo da intensidade sonora. Para finalizar este módulo o autor propõe alguns exercícios de vestibular.

O módulo nove, “escalas e notas” inicia-se com questionamentos, discussões a respeito da teoria musical e sua construção. É utilizado um teclado musical para mostrar a sonoridade dos intervalos, consonância, dissonância, acordes maiores e menores e algumas escalas musicais. Para finalizar, toca-se a música “Samba de uma nota só” de Tom Jobim e Newton Mendonça convidando os alunos a cantarem e batucarem juntos com o professor.

O décimo módulo, assim como a maioria inicia-se com questionamento, “Você já ouviu a mesma música sendo tocada por instrumentos diferentes?” Ainda no teclado executa-se a música “Asa branca” Luiz Gonzaga primeiramente com som de piano, depois flauta, acordeom e violino. Com auxílio do Sound Forge 9, analisa-se gráficos de ondas formada pelo piano enfatizando o fato de cada instrumento tem a sua onda característica, timbre ou a cor do som. Nesse sentido, aborda-se onda sonora como um conjunto de ondas onde a combinação dos harmônicos é a assinatura espectral de cada onda sonora.

O módulo onze “Som e suas músicas” finaliza esta sequência didática através de diálogos e questionamentos a respeito dos efeitos e a presença da música na vida das pessoas. Discute-se sobre equipamentos reprodutores de música, ciência, tecnologia e o comércio musical.

Por fim, reuniu-se a classe para “fazer um som”, arranja-se alguns instrumentos musicais deixando os alunos a vontade para, primeiramente explorar os instrumentos e depois tocarem juntos a canção “Como uma onda” já apresentada no curso.

APÊNDICE C - “Proposta de Sequência Didática Aplicando um Monocórdio e o Uso de Elementos Musicais Perceptuais Como Estruturantes Para o Ensino de Conceitos de Física Ondulatória.”

As aulas foram divididas em sete encontros, na primeira aula aplica-se um pré-teste e instruções para a confecção de um mapa conceitual utilizando o software CmapTools ou se preferirem, manualmente. A segunda aula expositiva usando o violão, o simulador de ondas PHeT Colorado e o WavePad Audio Editing aborda os seguintes temas: Consonância perceptual relação entre frequência perceptual com os comprimentos da corda, pulso, ondas, comprimento de onda, frequência e período de uma onda. Propõe-se nesse momento tarefa para casa com resolução de exercício e atualização do mapa conceitual.

A terceira aula também expositiva e usando o WavePad Audio Editing e o PitchPerfect Musical Instrument Tuner3, aborda a velocidade de propagação da onda em uma corda e equação fundamental da onda ($v = f \cdot \lambda$).

A quarta aula é uma atividade experimental utilizando o monocórdio, tablet ou celular com o Guitar Tuner instalado para auxiliar nas medições. Os objetivos são medir a tensão entre dois segmentos de corda e correlacioná-la com a frequência de vibração. Verificar que a frequência medida na corda menor é cerca do dobro da frequência da corda maior, facilitando a observação da equação fundamental da ondulatória. Propõem-se que a força de tensão na corda seja medida através de um reservatório cheio de água sob a ação da gravidade. Como atividade para casa pede-se um relatório sobre o experimento.

Na aula cinco, discute-se sobre os dados obtidos através do experimento, confecciona-se gráficos, relacionando velocidade com tensão aplicada na corda (equação de Taylor). Sugere-se uma tarefa para casa que consiste em adicionar conceitos ao mapa conceitual e construir gráficos com os dados obtidos experimentalmente.

A aula seis consiste em analisar os gráficos obtidos, detalhar a equação de Taylor, examinar os mapas conceituais e correção das atividades. Por fim, na aula sete aplica-se um pós-teste envolvendo o conteúdo abordado.

APÊNDICE D - “Sequência Didática Para o Ensino de Acústica”

Na primeira aula apresenta-se o conceito de onda e seus parâmetros através de questionários e discussão com a classe. A partir disso o professor apresenta a representação gráfica e o modelo matemático para onda sonora.

Na segunda aula classifica-se ondas sonoras observáveis na natureza e como elas se propagam. Neste momento o professor reúne exemplos relacionados ao som e os define como consequência ondulatória.

Aula três, retoma-se os esclarecimentos sobre o som como onda através de questionamentos. Neste momento, apresenta-se os conceitos de altura e intensidade usando o simulador de ondas PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder, exemplificando a relação entre frequência e intensidade através das notas musicais. Apresentar através do programa Audacity, a diferença no formato de ondas geradas por diferentes instrumentos musicais.

Na aula quatro, faz-se a leitura de dois textos, “Por que é bom cantar no chuveiro?” e “Ecolocalização: Ultrassonografias, morcegos e golfinhos.” Pede-se para os alunos que retirem dos textos termos ou conceitos científicos desconhecidos. Feito isso, é feita uma discussão utilizando os simuladores da aula três.

A quinta aula é constituída de questionamentos sobre o funcionamento de instrumentos musicais. Utiliza-se o violão para demonstrar a relação entre nota musical e comprimento de corda, através de representações gráficas no Audacity. Explora-se este mesmo efeito utilizando uma flauta.

Na última aula desta sequência, demonstra-se o efeito de ressonância usando diapasões e caixa de ressonância. Em grupos, os alunos terão que desenvolver uma maneira de descobrir a nota musical emitida por uma corda do violão através dos diapasões. Individualmente, o aluno deve redigir um texto descritivo sobre a metodologia utilizada e seus resultados.

Por fim, apresenta-se uma proposta de avaliação que consiste em fazer uma estimativa de uma nota da escala musical produzida pela corda de um violão. Para isso, os alunos teriam a disposição todas as ferramentas apresentadas nas aulas.

APÊNDICE E - “Sequência Didática: Uma alternativa para o ensino de acústica no ensino médio”

O primeiro módulo, “Ondas sonoras” inicia-se com exposição de três imagens seguidas de questionamentos como: “Você já se imaginou sem escutar música? Já parou para pensar em como o som é produzido? Como diferenciamos tantos sons?” (MAZETI, 2011, p. 54).

Após a reflexão individual, tem-se a discussão em grupo, onde as ideias e concepções sobre o tema poderão se confrontar. A partir disso, o professor deve perceber qual é o grau de conhecimento dos alunos sobre ondas mecânicas, desse modo, priorizar a teoria necessária para a construção do conhecimento.

Inicia-se ondas mecânicas tomando como exemplo, ondas do mar, ondas do cotidiano dos alunos e posteriormente ondas transversais e longitudinais, incorporando a ondas sonoras. Aborda-se a velocidade do som em diferentes meios de propagação, aliado a isso, compara-se a velocidade da luz e a sua dependência com o estado da matéria.

Por fim, aplica-se um questionário, composto de problemas, simples e complexos, provenientes de provas do ENEM e vestibulares que envolvam o tema desse módulo.

No módulo dois, também se inicia com exposição de três imagens acompanhadas de questionamentos, reflexão e debate sobre timbre, fonte sonora e os perigos da exposição excessiva em som muito alto. No momento da discussão, é apresentado instrumentos musicais que alguns alunos trouxeram para a classe, estes instrumentos puderam ser tocados de maneira coordenada ou menos coordenada, fenômeno que seria explorado pelo professor mais adiante.

Feita as discussões iniciais, o professor explana sobre altura do som relacionado com frequência. Neste contexto, o professor volta-se as imagens que mostram dois sons com intensidades iguais, porém com alturas diferentes.

Na sequência, tomando como exemplo, uma das figuras e os instrumentos trazidos pelos alunos, expõe-se as características de timbres nos instrumentos musicais, e que este entendimento está no princípio de composição de ondas.

Ao final deste módulo, apresenta-se uma tabela com níveis de ruído em decibel e sugere-se a leitura do artigo do professor Fernando Pimentel que trata dos riscos da poluição sonora. Pede-se para que os alunos reflitam sobre o meio

ambiente sonoro que os cercam, que elaborem uma tabela contendo suas exposições diárias e que redijam um texto sobre o tema abordado na aula.

O módulo três, inicia-se com observação de três figuras, a primeira mostrando o fenômeno do eco, a segunda o sonar de submarino e a terceira um golfinho. Sugere-se questionamentos e discussões em grupo sobre os fenômenos sonoros apresentados. A partir dessas implicações, o professor intervém explanando sobre a reflexão sonora. Partindo desses exemplos, os alunos são desafiados a encontrar outros exemplos parecidos dentro da escola e outros exemplos de aplicações importantes na sociedade como a tecnologia do sonar e a biologia dos golfinhos.

Para finalizar esse módulo, debate-se sobre ressonância utilizando exemplos como o forno micro-ondas, quebra de cristais utilizando a vó e a destruição da ponte Tacoma, além de um texto mostrando onde podem existir mais fenômenos sobre o tema. Como tarefa de casa, pede-se para que os alunos formem grupos e montem instrumentos musicais de baixo custo para apresentação na próxima aula.

O último módulo inicia-se com observação de três figuras mostrando instrumentos musicais, apresentação dos instrumentos musicais de baixo custo, discussão e reflexões sobre fontes sonoras, cordas vibrantes e tubos sonoros. Após explanação do professor sobre o tema apresenta-se um texto para leitura sobre o efeito Doppler. No fim desse módulo, pede-se a elaboração por parte dos alunos de uma ficha técnica sobre os instrumentos musicais utilizados no último módulo.

APÊNDICE F - “A Física da música e a Pluralidade Didática”

Antes de iniciar a primeira aula, é necessário a preparação da sala. O professor deixa tudo montado, quando os alunos entram na sala, encontram os instrumentos, os experimentos e a tecnologia que será utilizada. Espera-se na primeira aula que os alunos se sintam curiosos ao ponto de surgir a palavra “onda”, neste momento professor “aproveita o gancho” e intervém. Com ajuda de um quadro, apresenta o tratamento matemático, princípios e conceitos de ondulatória.

Na segunda aula, o autor propõe a exploração do conteúdo de ondas estacionárias e interferências através dos experimentos: cordas tensionadas e tubos sonoros. Nesta parte da aula a experimentação é executada pelo professor, os alunos permanecem como espectadores acompanhando a execução e deduções matemáticas expostas na lousa.

Na terceira aula os alunos fazem o experimento de ondas estacionárias em corda tensionada, com ajuda simuladores, osciloscópio e gerador de tons. É possível acompanhar a montagem do experimento através de um vídeo explicativo, o link do vídeo se encontra anexo ao referido trabalho.

Este experimento é feito em três grupos “O grupo da tensão, o da frequência e o do comprimento. Cada grupo varia, no seu experimento, apenas a sua grandeza e deixa as outras constantes, até encontrarem os três primeiros harmônicos” (LERIAS 2016, p. 3). Espera-se com esta atividade que os alunos encontrem a expressão matemática que descreve a tensão da corda em função do comprimento e frequência.

A quarta aula, Lerias (2016, p.37) a considera “um pouco mais recreativa” é desenvolvida através de práticas musicais em conjunto, o professor estimula os alunos a participarem de alguma forma, cantando, tocando algum instrumento, assoviar, bater palmas, estalar os dedos, ou batucar.