

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

ÉLIDA LAUREANO RODRIGUES

ENSINO DE ACÚSTICA: UM ARRANJO ENTRE FÍSICA E MÚSICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

ÉLIDA LAUREANO RODRIGUES

ENSINO DE ACÚSTICA: UM ARRANJO ENTRE FÍSICA E MÚSICA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado ao Curso de Licenciatura em Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de licenciado

Orientador: Prof. Dr. Nilson Marcos Dias Garcia.

Coorientadora: Prof^a. Ma. Priscilla Battini Prueter

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: ENSINO DE ACÚSTICA: UM ARRANJO ENTRE FÍSICA E MÚSICA

Autor: ÉLIDA LAUREANO RODRIGUES

Orientador: PROF. DR. NILSON MARCOS DIAS GARCIA

Coorientador: PROF^a. MA. PRISCILLA BATTINI PRUETER

Este trabalho foi apresentado às **10:00**, do dia 03 /12 /2018, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC2), do curso de Licenciatura em Física, do Departamento Acadêmico de Física (DAFIS), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba. A comissão examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Comissão examinadora:

Prof. Dr. Nilson Marcos Dias Garcia

Prof^a Ma. Priscilla Battini Prueter

Prof. Dr. Álvaro Emílio Leite

Prof. Dr. Guilherme Gabriel Ballande Romanelli

Prof. Dra. Noemi Sutil
Professor Responsável pelas Atividades de
Trabalho de Conclusão de Curso/
Curso de Licenciatura em Física
(DAFIS/UTFPR)

O termo de aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso

AGRADECIMENTO

A Deus por ter me escolhido como filha e ter guiado meus passos até hoje, ter permitido chegar a esse momento tão especial que é a conclusão de uma fase que não foi nada fácil, mas que com a graça dEle cheguei até o fim. “Louvarei o nome de Deus com cânticos...” Salmos 69.30. Pela graça e pela família que me deu. À minha Mamadi Edile e meu Papito Edinan por toda paciência e amor, todo ensinamento e toda ajuda. Por nunca me deixarem desistir dos meus sonhos e planos me dando apoio e suporte, sendo os meus alicerces, vocês são os exemplos da minha vida. Aos meus irmãos Rafael e Tiago, às minhas cunhadas (irmãs) Vanessa e Hagata e às minhas princesas, presentes da minha vida Julia e Manuela. Aos meus avós em memória de Oswaldo, Orlando e Jovina e minha vó Marli.

Pela graça, pela família e por meus amigos. Juliana, minha diva, por ter sido meu maior apoio durante o curso, com toda certeza uma amiga para vida. Assim como Ti que a vida queria que a gente se conhecesse e feliz sou eu por isso, agradecida ao PLI por ter conhecido o Ti e a Cyns (viva o 4U) que viraram a minha família. Aos amigos que fiz no curso como Ana Paula, Joelson e Carlos, por toda ajuda, listas de exercícios e conversas compartilhadas. A minha toura gêmea Helouise por todas as palavras de amor e apoio. Aos meus amigos fora da faculdade como a Marcella, Wagner, Liliane e Lisane (minha linda professora de música e amiga para a vida), a minha prima Bruna por tudo e principalmente por ter insistido pra eu cursar na UTFPR pra gente estudar juntas de novo.

Aos meus orientadores, professor Nilson Marcos Dias Garcia e professora Priscilla Battini Prueter, pela orientação, pelo compartilhamento de seu conhecimento, de suas experiências, e por toda paciência que eu sei que tiveram comigo.

Aos professores que acreditaram em mim. Professores Álvaro, Ricetti, Nestor, Rita, Luciana, Diógenes, Marlos, Alisson, Marcia, Fabris, Mario Sergio, Ricardo Canute, Noemi, Joinha. Sou imensamente grata a vocês mestres, e se cheguei até aqui for por vocês também.

Ao coral da UTFPR pelos lindos três anos em que pude participar e aprender muitas coisas, à maestrina Priscilla e ao pianista Brenno, por acreditarem no meu potencial como contralto e nunca me pedirem para ser soprano. Pelos amigos e colegas que fiz, por ter me apresentado uma parte pequena do universo musical que

é lindo e que me fez ter vontade de estudar mais. No meu coração eu canto as horas e as melodias (Sandy, 2018) das músicas e sonhos que realizei durante esses anos.

À Capes pelo apoio na realização do intercâmbio pelo Programa Licenciatura Internacional e à Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica.

Onda, onda, olha a onda! × ×
(TCHAKABUM,2001)

RESUMO

RODRIGUES, Élida L. **Ensino de Acústica: um arranjo entre Física e Música.** Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

As manifestações da ciência e da arte têm estado presente ao longo de todo o tempo em nossa sociedade, estabelecendo, em alguns momentos, uma relação mais intensa, haja vista que tanto o cientista quanto o artista estão em busca da harmonia. Dados os interesses de estudos e pessoais, o foco desse trabalho foram as relações entre Física e Música, sendo explorado principalmente através do ensino de Acústica. Tomando como referencial conhecimentos básicos de Ondulatória, Acústica e de Música, este trabalho visou explorar algumas possibilidades de diálogo entre a Física e a Música através de ações que pudessem auxiliar no ensino desses dois campos de conhecimento. Através da realização de um workshop sobre a temática com participantes de um coral de universidade, alguns conhecimentos básicos que estabeleciam relações entre Física e Música foram desenvolvidos de forma teórica e prática. A partir da aplicação de instrumentos pré e pós desenvolvimento do workshop, foi possível verificar que houve apreensão de algumas dessas relações, especialmente no que diz respeito à produção do som e história da Acústica, sendo observado uma mudança nas interpretações dos participantes a respeito desses conceitos. Percebeu-se assim que o conteúdo abordado é de interesse e a sua abordagem é uma alternativa para explorar os conceitos envolvidos nas relações entre Física e Música.

Palavras-chave: Física e Música, Ensino de Física, Acústica, Ondulatória, Diálogo Física e Música.

ABSTRACT

RODRIGUES, Élida L. **Acoustic Teaching: an arrangement between Physics and Music.** Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The manifestations of science and art have always been present in our society, establishing, at some points, a stronger connection, since both scientists and artists search for harmony. Due to researches and personal interest, the central topic of this study is the Physics and music communication, which has been explored mainly through the acoustic teaching. Taking into consideration basic wave phenomena, acoustic, and music knowledge, this research aimed to explore some possibilities of Physics and music interplay, via actions that could support these fields of knowledge. By means of a practical and theoretical workshop with this thematic, participants of a university choir were exposed to basic knowledge of Physics and music connections. With the application of pre and post instruments at the workshop, it was possible to check the participant's awareness of these connections, mainly, when it came to sound production and acoustic history. It was observed in the participants, a different perspective about these concepts. Therefore, it was noticed that the topics discussed come to the interest of the participants and its approach is an alternative to explore the concepts that are involved in the Physics and music interplay.

Keywords: Physics and Music, Physics Teaching, Acoustic, Wave Phenomena, Physics and Music Interplay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração de ondas transversais produzidas numa corda de violão.....	21
Figura 2 – Ilustração de ondas longitudinais produzidas numa mola.....	21
Figura 3 – Ilustração do exemplo do copo com areia numa tira de papel.....	22
Figura 4 – Representação esquemática das características de uma onda.....	23
Figura 5 – Níveis de intensidade sonora.....	27
Figura 6 – Exemplos de timbres.....	28
Figura 7 – Duração das notas.....	28
Figura 8 – Intervalo da escala natural a partir de dó.....	29
Figura 9 – Representação musical da escala natural a partir de dó.....	29
Figura 10 – Teclas do piano.....	31
Figura 11 – Figuras de Chladni.....	34
Figura 12 – Questionário 1 e 2 – Participante 3.....	42
Figura 13 – Representação dinâmicas musicais.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO (Da capo).....	11
2. APRESENTANDO A TEORIA (OPUS)	14
2.1 Revisão de literatura	14
2.2 Interdisciplinaridade	17
2.3 Conceitos físicos básicos.....	19
2.3.1 Ondas.....	20
2.3.2 Onda Sonora	24
2.3.3 Qualidades fisiológicas do som	25
2.3.4 Escala Musical	29
2.4 Contribuições da Física para a evolução da Música.....	32
3. OS BASTIDORES DA PESQUISA (LIBRETTO)	36
3.1 Descrição do workshop.....	36
3.1.1 Participantes do workshop	38
3.1.2 O Coral da UTFPR	39
4. ANALISE E DISCUSSÃO (CADENZA)	40
4.1 Som	40
4.2 Física e Música	41
4.3 História da acústica e conceitos físicos	42
4.4 Propagação do Som em meios diferentes	42
4.5 Sensibilidade sonora.....	43
4.6 Altura	44
4.7 Intensidade	45
4.8 Timbre.....	46
4.9 Duração e Escala Musical	46
4.10 Comentários	47
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS (CODA).....	49
REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICES.....	54
Apêndice 1 – Proposta de Atividade do Workshop	55
Apêndice 2 – Questionários 1 e 2	57
Apêndice 3 – Slides (texto)	59
Apêndice 4 – Slides (apresentação)	65

1.INTRODUÇÃO (DA CAPO¹)

O interesse pelo tema nasce da minha paixão pela música, que sempre esteve presente na minha vida. O canto na igreja e no coral da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), assim como as aulas de piano e teoria musical despertaram meu encanto pela música.

A paixão pela Física foi surgindo aos poucos, principalmente durante o curso de Licenciatura em Física da UTFPR, onde há uma visão diferenciada da formação docente, pois busca formar não apenas professores, mas facilitadores do ensino e profissionais competentes, especialmente nas aulas de projetos de ensino, que buscam alternativas de aulas diferenciadas, que fujam do recorrente quadro negro, giz e resolução de exercício.

Por meio dos sentidos, a arte possibilita ao ser humano o encontro do seu exterior com o seu interior. Segundo Araújo (2006), a experiência artística é uma forma de conhecimento, mediadora para enfrentar muitas situações do cotidiano. E o cotidiano é o meio em que arte e ciência buscam oferecer respostas para os mais diversos fenômenos.

Pode-se afirmar que há uma relação entre ciência e arte, pois tanto o cientista quanto o artista estão em busca da harmonia. Na arte, a música, com o ritmo e a melodia. Na ciência, a Física, com o timbre, a altura e a intensidade do som.

Henrique (2002, p.1) aponta que houve períodos na história em que arte e ciência estiveram em campos opostos, “e noutros se complementaram como se pertencessem a um corpo de conhecimento alargado”.

Nos tempos de Kepler,

[...] os físicos conheciam música porque precisavam usar conceitos musicais para estudar fenômenos físicos, como o som. Dessa forma, a linguagem da música conversava com a da ciência. Acho que agora as duas áreas não conversam mais, mas o diálogo entre físicos e músicos continua a ser perfeitamente possível (BERKOVITS, 2018²).

Vê-se assim, na possibilidade do diálogo entre a Física e a Música uma excelente oportunidade para o ensino de Física. Dessa forma, o tema proposto do presente trabalho de conclusão de curso é o Ensino de Acústica relacionado à prática

¹ Da Capo é um termo musical que significa início.

²Nathan Berkovits, professor do Instituto de Física Teórica da Universidade Estadual Paulista (Unesp) e diretor do Instituto Sul-Americano para Pesquisa Fundamental (ICTP-SAIFR), durante uma roda de conversa sobre música e som, realizada no dia 2 de março de 2018 no Instituto Moreira Salles (IMS). Disponível em http://agencia.fapesp.br/musica_em_supercordas/27329/. Acesso em março de 2018.

musical. Procura-se, assim, explorar a relação entre ciência e arte por meio de “um arranjo” harmônico entre Física e Música.

É possível observar que a Física está em constante evolução, e que a música influenciou na descoberta de alguns fenômenos como, por exemplo, o de ondas. A Acústica é o estudo do som e tem origem na palavra grega *akouein*, que significa ouvir. (HENRIQUE, 2002, p.23) e dentre os conceitos estudados em Física é na Acústica que é apresentada a maior afinidade com a interdisciplinaridade entre Física e Música. Apesar dessa afinidade, é preciso olhar para a Acústica procurando estabelecer as definições que demonstram relação com a Música e depois buscar compreendê-las na prática musical para o ensino de Acústica.

O professor Romanelli (2018³), em palestra sobre ciência e música comenta: “Coordenar fenômenos acústicos significa trabalhar exclusivamente com sons e sua relação com o silêncio lembrando que som em qualquer lugar do mundo vai ter apenas quatro parâmetros altura, intensidade, duração e timbre”. Nesse sentido, buscou-se nesse trabalho apresentar essas definições de uma maneira lúdica com a prática musical.

Para Henrique (2002, p.3), não há limites, pelo menos do ponto estético, para a criação artística. Entretanto, contrapõe o autor, “na investigação científica existem limites bem definidos impostos pelo conhecimento da realidade, pelas teorias em vigor, e através de um controle rigoroso que é imposto pelas regras da própria cientificidade”.

Partindo do tema do presente trabalho, optou-se pela pesquisa exploratória, com abordagem qualitativa, pois segundo Gil (2009), ela permite ao pesquisador um maior conhecimento sobre o tema, pois, para ele, “as pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato”. (GIL, 2009, p. 27)

Da relação entre o referencial teórico e uma proposta de ensino de Acústica, visando a percepção da qualidade fisiológica do som, compreendendo aspectos de timbre, altura e intensidade, discutir-se-á o entendimento da propagação do som e suas características assim como as propriedades físicas do som e nos detalhes ligados ao processo que antecede a apreciação da arte musical.

³ROMANELLI, Guilherme. **Porque a música fala a língua da ciência?** Palestra proferida no evento *Pint of Science Festival* em Curitiba, em maio de 2018.

O texto está organizado de forma que o leitor tenha acesso a conceitos básicos de Ondas e Acústica, à contribuição da Física para a evolução da Música e aos resultados de um workshop “Um arranjo harmônico entre Física e Música”.

Para compor esse arranjo, os elementos do desenvolvimento desse trabalho serão tratados metaforicamente com expressões da prática musical. Como, por exemplo, o próprio título desta **Introdução**, no qual se usa a terminologia “**Da Capo**”, que significa início.

No **Referencial Teórico** (apresentando a teoria – **Opus**) desse trabalho serão contempladas uma revisão de literatura com trabalhos relacionados ao ensino de Acústica; uma breve discussão sobre interdisciplinaridade; a apresentação dos conceitos físicos que serão aplicados no workshop e uma breve história da articulação dos conceitos físicos com os musicais, sob um olhar da Física.

Por trás dos bastidores – Libreto – apresenta a metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho, a metodologia de pesquisa, a composição do workshop “**Física e Música – Um arranjo bem temperado**” e os instrumentos da pesquisa (Questionário 1 – pré-teste e 2 – pós-teste) e a escolha e caracterização dos participantes da pesquisa.

Em a **Análise de dados – Cadenza**, são analisadas as atividades e as respostas dadas pelos participantes, a partir de seu envolvimento no workshop e também das respostas dadas aos questionários.

E por fim, nas **Considerações Finais – Coda**, são apresentadas reflexões sobre a pesquisa, suas possibilidades e limites.

2. APRESENTANDO A TEORIA (OPUS⁴)

Apresenta-se aqui, respectivamente, uma revisão de literatura dos trabalhos relacionados à Acústica nas últimas cinco edições do Simpósio Nacional de Ensino de Física - SNEF, o contexto da interdisciplinaridade nessa proposta e os conceitos físicos básicos necessários para compreensão da estrutura escolhida para ser abordada no workshop.

2.1 Revisão de literatura

No SNEF são apresentados trabalhos que tratam questões importantes para o ensino de Física em todos os níveis da educação formal no país. Para o presente trabalho, buscou-se, entre os anos de 2007 e 2017, artigos que buscaram de alguma maneira apresentar uma proposta de ensino de Acústica relacionando os conceitos de Física e Música. Para isso foi acessado os sites de cada ano na aba “comunicação oral” e buscou-se nos títulos e resumos as palavras chave: acústica, música e ondas. Foram encontrados dezessete artigos, dos quais apenas onze foram mencionados neste trabalho devido à sua relevância e proximidade aos objetivos do presente estudo.

No trabalho “Física: som e audição humana”, Rui e Steffani (2007), a partir de aplicação de um projeto de Mestrado Profissional em Ensino de Física, realizado no Instituto de Física da UFRGS em 2006, discutem que o processo da audição humana abrange grande número de fenômenos físicos. Apontam a produção de um painel para explorar conceitos físicos através do processo de audição humana, como um recurso didático a ser aplicado a alunos da 8ª série do ensino fundamental e no ensino médio, por professores de Física e de outras disciplinas, como Biologia e Música.

Nascimento e Gobara (2007) no trabalho “Uma introdução para o ensino de ondas sonoras” apresentam os resultados obtidos na realização de uma atividade proposta para alunos de oitava série do ensino fundamental. Através da manipulação de objetos simples que emitem som, os autores propõem um modelo explicativo que descreva a produção do som pelo aparelho fonador.

Em “Uma proposta para a apresentação de conceitos de acústica no ensino médio”, Tavares e Souza (2007) buscam oferecer subsídios aos professores de Física do ensino médio para o ensino de Acústica. Apresentam dados sobre a natureza do

⁴ Termo latino que significa obra ou trabalho. A partir do século XVII, seguida de um número, serve para estabelecer a ordem de classificação da obra de um compositor.

som e suas principais características, destacando a altura do som, o timbre e a intensidade sonora.

O trabalho de Diogo e Gobara (2009), “Um ambiente virtual para introduzir conceitos sobre ondas sonoras: o desafio ‘abaixe o volume’” é resultado da dissertação de mestrado, intitulada: A aprendizagem de ondas sonoras sob a ótica de desafios em um ambiente virtual potencialmente significativo. Apresenta uma das atividades desenvolvidas durante a realização de uma pesquisa de campo em que as tecnologias da informação e comunicação foram utilizadas como recurso educacional para o ensino introdutório de conceitos fundamentais da Física do Som.

Conceição et al. (2009), no trabalho “Uma proposta de utilização da acústica musical no ensino de Física”, a partir da interdisciplinaridade Física-Música, abordam conceitos relacionados à Física Ondulatória, como a reflexão, a interferência e outros que poderiam ser associados à geração e propagação do som por instrumentos musicais. Também exploram conceitos de teoria musical que podem ser explicados a partir da Física e da Matemática, como altura, intensidade, timbre e duração, que são relacionados, respectivamente, à frequência, amplitude, superposição de ondas (diferentes componentes de Fourier) e tempo.

Maeoca e Gobara (2011), no trabalho “Construção de um instrumento musical de sopro para auxiliar na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras”, discutem uma proposta de sequência didática na qual utilizam a construção de um instrumento musical de sopro para o ensino de conceitos sobre ondas sonoras. Os conceitos abordados são frequência, amplitude e comprimento de onda. As autoras apresentam uma nova proposta para o ensino desses conceitos, com base na teoria construtivista piagetiana.

Em “Propagação do som: conceitos e experimentos”, Silva e Aguiar (2011) propõem uma sequência de ensino e aprendizagem sobre a propagação do som. A partir de sondagem diagnóstica sobre o tema, sistematizam e discutem as respostas às questões que revelam as diferentes noções sobre som que são utilizadas pelos estudantes. Realizaram também experimentos para determinar qual das noções apresentadas estaria em melhor acordo com o comportamento real do som. Desenvolveram assim, um método simples para investigar a propagação sonora, que permite que esses experimentos sejam montados e executados em praticamente qualquer sala de aula.

Aprendizagem em oficinas foi o tema de Mattiuci e Santos no trabalho “Oficinas de som: relações entre física e música nas séries iniciais”. O trabalho relata oficinas

que foram realizadas no Ensino Fundamental, com o objetivo de mostrar que é possível ensinar Física nas séries iniciais. “O som está presente na vida de qualquer ser humano em muitas formas e ao contrário da visão errônea que se tem da física, o som, pode ser explicado com a ausência de cálculos, assim como muitos outros assuntos” (MATTIUCI e SANTOS, 2013).

Freitas et al. (2013), no trabalho “Reflexões sobre a implementação de um planejamento didático envolvendo a física dos instrumentos musicais no ensino médio”, analisam uma experiência didática desenvolvida no Estágio Supervisionado, relativa ao tema Física dos Instrumentos Musicais (FIM). Nessa experiência didática, os autores abordam conceitos da Física Acústica junto a uma turma de terceiro ano do Ensino Médio. E percebem que não há uma abordagem direta do tema, restando estabelecer conexões com o tema Ondas. Formulam, então, um planejamento didático contemplando uma série de subsídios para auxiliar no desenvolvimento do tema em questão, que consistiu em doze aulas com a seguinte estrutura: Características do som; caracterização de conceitos; ressonância e interferência; instrumentos de cordas; fonação e audição; tubos sonoros; e instrumentos de percussão.

Seabra e Maciel no trabalho “Música como tema para o ensino de física por projeto” descrevem atividades fundamentadas na metodologia de uso de Projetos para o ensino de Física. Com o tema Música e Emoção, o projeto, com duração de aproximadamente quatro meses, contou com a participação de dezoito alunos da educação básica. Suas principais conclusões apontam que os conceitos relacionados a ondas, especificamente Acústica, foram “aprendidos de forma significativa pelos alunos, sendo considerado por todos os participantes como uma metodologia possível de ser desenvolvida em sala de aula e que favorece a aprendizagem de forma significativa” (SEABRA e MACIEL, 2015).

Rosa e Oliveira (2017) em seu artigo, “Avaliação da Evolução das Ideias dos Alunos sobre o Som a partir do uso de uma UEPS”, analisam o que foi denominado unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) no estudo dos conteúdos de ondulatória e acústica, aplicado a alunos do segundo ano do ensino médio. Os autores, além de proporem uma metodologia de análise da aprendizagem significativa concluíram que o uso de UEPS foi parcialmente satisfatório e sugeriram que em todos os conteúdos de Física os alunos devem ter seu desempenho acompanhado gradativamente e não serem convencidos de um determinado modelo.

Ao pesquisar a relação Física e Música pode-se perceber que os assuntos que não tinham conexão, na verdade apresentam muitas aproximações. Conceição et al, ressaltaram que “a relação Física-Música é bastante rica no sentido de poder explorar vários conceitos importantes da Física através do estudo da música” (CONCEIÇÃO et al, 2009).

Vê-se, a partir do breve levantamento de artigos na área de Acústica, que os trabalhos aqui relatados estão direcionados à educação básica e ao ensino formal de Física. A relevância do presente trabalho, entretanto, está na aproximação da Física ao universo dos músicos, em espaços não-formais, possibilitando assim apresentar de forma diferenciada os conceitos de Acústica percebidos no cotidiano.

2.2 Interdisciplinaridade

Para Mozena e Ostermann (2016), as propostas curriculares no Brasil têm um histórico de debates bastante recente em comparação a outros países. “No entanto, a pesquisa em ensino de Física parece estar distante dessa discussão, dada a pouca tradição em estudos sobre políticas públicas em nossa área” (p. 328).

No âmbito das discussões e debates está a Base Nacional Curricular Comum - BNCC. As autoras apontam que no campo da Física, “a interdisciplinaridade está completamente ausente e inviabilizada, embora ela seja instituída em lei pelas Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica (2010) e as Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (2012)”. (MOZENA; OSTERMANN, 2016, p. 331).

Para elas, na BNCC, a palavra interdisciplinaridade “simplesmente não é mencionada em nenhuma parte do documento sobre Ciências da Natureza no ensino médio”, ficando “circunscrita à descrição geral no documento” e apontam que o “problema de materializar a interdisciplinaridade continua sendo repassado e responsabilizado ao professor” (MOZENA; OSTERMANN, 2016, p. 332)

Para Costa et al (2007), tradicionalmente, para cada disciplina existe um professor, conteúdos a serem ministrados e elementos metodológicos. Dizem as autoras:

A maioria dos professores de Física, bem como professores dos demais componentes curriculares que atuam nas escolas atualmente, são herança de uma geração, cuja formação educacional esteve atrelada a um modelo tradicional de ensino, em que os conteúdos eram repassados de maneira fragmentada, isolada, de forma pronta, acabada e verdadeira, sem possibilidade de análise, discussões, construção e reconstrução.(p. 3)

O Ministério da Educação por meio do Plano Curricular Nacional para o Ensino Médio (PCN+) orienta a importância da relação da Física com a cultura contemporânea, da interdisciplinaridade da Física com a Arte.

Compreender a Física como parte integrante da cultura contemporânea, identificando sua presença em diferentes âmbitos e setores, como, por exemplo, nas manifestações artísticas ou literárias, em peças de teatro, letras de músicas etc., estando atento à contribuição da ciência para a cultura humana (BRASIL, 2000, p. 68).

Mesmo com a orientação de se desenvolver um ensino de Física mais atrativo, a prática revela certa dependência da abordagem tradicional em sala de aula, como citado no PCN+:

A seleção desse conhecimento tem sido feita, tradicionalmente, em termos de conceitos considerados centrais em áreas de fenômenos de natureza física diferentes, delimitando os conteúdos de Mecânica, Termologia, Ótica e Eletromagnetismo a serem abordados (BRASIL, 2000, p. 61).

Admitindo essa linha de raciocínio, Lück (1994) pondera que

[...] conhecimentos, distanciados uns dos outros e da realidade a partir da qual foram produzidos, necessitam urgentemente constituir um todo organizado. Surge, em consequência dessa necessidade, a proposição da interdisciplinaridade, como forma de superar tal fragmentação. (LÜCK, 1994, p.20).

Lück (1994) ainda aponta que

Emerge, nesse processo, o desenvolvimento de atitude e consciência de que trabalhando dentro de um sistema de interdisciplinaridade o professor produz conhecimento útil, portanto, interligando teoria e prática, estabelecendo relação entre o conteúdo do ensino e realidade social escolar (1994, p. 34).

Segundo Costa et al (2007), na relação entre teoria e prática, a pesquisa possibilita o avanço da ciência e a articulação das diferentes disciplinas. Essa articulação é importante para o desenvolvimento integral do estudante. Mas parece haver um descompasso entre as pesquisas acadêmicas acerca da construção do conhecimento e a realidade verificada na maioria das escolas. A escola “continua estagnada no tempo, nos antigos moldes da escola tradicional”. (p. 3)

Entendendo assim a questão interdisciplinar como o resultado da articulação entre duas ou mais disciplinas com objetivos pedagógicos comuns, relacionar os conceitos físicos estudados em Acústica e mostrar sua aplicação na prática musical reveste-se de importância pedagógica.

No filme “O som do coração”⁵ de 2008, o personagem central afirma: “A música está ao nosso redor, tudo o que precisa fazer é escutar”. Pode-se, assim, parafrasear em relação à Física da seguinte forma: A Física está em todo lugar, inclusive em disciplinas que não são apresentadas de forma dialógica, como Física e Arte. Falta apenas perceber essa relação.

2.3 Conceitos físicos básicos

Os conceitos físicos essenciais presentes no estudo da Música são ondas, ondas sonoras (som, definições, origem e formação), intensidade, altura, timbre, duração (conceito mais musical do que físico) e escala musical.

O som é uma onda, uma onda sonora. Pode-se definir onda sonora como uma vibração, uma perturbação, que se propaga no espaço e no tempo. Grillo et al definem o som como

Uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo, ou seja, uma onda sonora que percorre um caminho em um meio material (como ar, água e parede) até aos ouvidos humanos. (GRILLO et al, 2016, p 21.)

Rui e Steffani diferencia a vibração do som afirmando que

Todo som gera uma vibração no meio pelo qual se propaga, mas nem toda vibração produz som audível para nós. Por experiência diária sabemos que quando a intensidade do som (popularmente conhecida como volume) é baixa, ou seja, o som é fraco, temos dificuldade de ouvir. Essa dificuldade de ouvir sons fracos (de volume baixo) depende de pessoa para pessoa, agravando-se muito na velhice (RUI; STEFFANI, 2007)

Já Villas Boas et.al. definem o som apenas mencionando sua constituição por um conjunto de ondas mecânicas, as quais são perceptíveis aos ouvidos humanos e de animais. Acerca do sistema auditivo os autores afirmam:

O sistema auditivo humano é sensível às ondas sonoras que tenham frequência entre 20 Hz e 20000 Hz, aproximadamente, [...] Se a frequência for menor que 20 Hz, essa onda será denominada **infrassom**. Se a frequência da onda for maior que 20000 Hz, ela será chamada de **ultrassom**. Ultrassons e Infrassons não são ouvidos por seres humanos. (VILLAS BOAS et al, 2010, p 199.)

Dessa forma, é possível fazer uma análise do som de duas maneiras diferentes, pelo aspecto físico e pelo psicofísico. Segundo Henrique,

A palavra som tem dois significados consoante se considera como fenômeno físico ou como fenômeno psicofísico. Para haver som tem que existir uma fonte sonora. O significado físico diz respeito à fonte sonora e à propagação

⁵ O Som do Coração (August Rush) é um filme que conta a história de Evan Taylor/August Rush que através da música tenta encontrar seus pais biológicos. Um filme de 2008 criado por Kirsten Sheridan e que tem como um dos personagens principais o ator Robin Williams.

do som através do meio. O significado psicofísico refere-se à audição desse fenômeno, ou seja, à sensação que provoca em nós. Considerar o som como um fenômeno físico ou como uma sensação, depende do tipo de abordagem. Se estudamos a produção do som num violino, por exemplo, pensamos no som como fenômeno físico; se estudamos a percepção auditiva do som do violino, pensamos no fenômeno psicofísico (HENRIQUE, 2002, p 6).

Quanto ao significado físico do som, estuda-se, então, a fonte sonora do som e a propagação do som através do meio. O som é produzido por algo que está vibrando e no caso dos instrumentos de corda (fonte sonora), o som é produzido pela vibração das cordas e em alguns instrumentos de sopro (fonte sonora), pela vibração de uma coluna de ar (MAEOCA, 2012, p 7).

2.3.1 Ondas

Para entender o que é uma onda sonora é preciso conceituar onda. Em termos físicos, diz-se que as ondas são vibrações que não transportam matéria, mas sim energia. Uma vibração é um movimento que se repete com o passar do tempo, uma oscilação em função do tempo. A onda é um movimento oscilatório que pode ser definida em função tanto do espaço como do tempo (HEWITT, 2002, p. 330). Para que haja um movimento oscilatório é preciso existir um estado de equilíbrio. Pensar numa onda é como pensar numa pedra sendo jogada num lago calmo, (condição de equilíbrio); as perturbações (movimentos oscilatórios) são os círculos formados na água após a pedra ser jogada. Se deixarmos cair uma pedra em uma lagoa parada, as ondas se propagarão para fora em círculos que se expandem, todos com os centros localizados no ponto onde foi produzida inicialmente a perturbação. (HEWITT, 2002, p. 333).

A tendência é que o sistema volte ao equilíbrio, e esse movimento de “vai e volta” é o movimento oscilatório, a onda. Se nesse lago houver uma folha flutuando, por exemplo, essa folha não vai sair do lugar quando as perturbações passarem por ela. Ela vai permanecer no seu espaço inicial e o seu movimento será apenas para cima e para baixo, demonstrando que a onda não transporta matéria.

Quanto à natureza das ondas, elas podem ser eletromagnéticas ou mecânicas. As ondas eletromagnéticas são geradas pela variação de campos elétricos e magnéticos. Elas não precisam de um meio material para se propagar. A luz é um exemplo de onda eletromagnética, ela se propaga tanto em meios materiais como no vácuo. Mas esse não é o foco desse trabalho. A onda sonora, por sua vez, é uma onda mecânica. Ela necessita de um meio para se propagar.

Em relação à direção de propagação das ondas, elas podem ser transversais e longitudinais. Nas ondas transversais, a direção de propagação da onda é perpendicular à direção de movimentação do meio material sujeito à onda. Nas ondas longitudinais, a direção de propagação da onda é a mesma que a direção de movimento do meio material sujeito à onda.

Um exemplo de onda transversal pode ser aquela que se obtém quando fazemos “cobrinha” com uma corda, movimentando a corda para um lado e para outro ou então para cima e para baixo. A corda (meio material sujeito à onda) se movimenta para cima e para baixo (ou para um lado e para o outro), enquanto a perturbação provocada move-se ao longo da extensão da corda (HEWITT, 2002, p. 333).

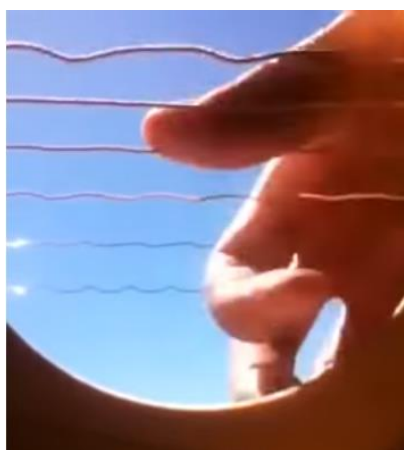


Figura 1 – Ilustração de ondas transversais produzidas numa corda de violão
Fonte: Cleiton Duarte Ferreira⁶

Para ilustrar uma onda longitudinal é preciso imaginar uma mola sendo comprimida e esticada logo em seguida, como mostra a figura 2.



Figura 2 – Ilustração de ondas longitudinais produzidas numa mola
Fonte: Hewitt, 2002 p 335

Nesse caso, um ponto da mola atingido pela onda ficará indo para frente e para trás enquanto estiver submetido ao efeito da onda.

⁶ Extraído do link <https://www.youtube.com/watch?v=tKxJ6Xxmiwc>. Acesso em 10 nov 2018.

A representação matemática da posição de um ponto submetido à ação de uma onda e que desenvolvem um movimento oscilatório, é expressa através de equações que envolvem as funções matemáticas seno e cosseno. São, por isso, chamadas de equações harmônicas. Uma maneira simples de demonstrar que o movimento oscilatório pode ser explicado através dessas funções matemáticas pode ser obtido pelo exemplo, conforme a Figura 3, que pode ser realizado, mas também imaginado.



Figura 3 – Ilustração do exemplo do copo com areia numa tira de papel
Fonte: Prof. José Higino Dias Filho.⁷

Um copo com um furo na parte inferior está suspenso por um barbante. Nesse copo coloca-se areia fina e seca. Sob o copo, coloca-se uma tira de papel. A areia começará a escoar pelo furo. Se o copo ficar parado a areia irá se acumular embaixo do furo na tira de papel. Se a tira de papel for puxada a uma velocidade constante, a areia deixará um rastro reto na mesma. Se, entretanto, o copo for tirado de sua posição de equilíbrio e posto a oscilar numa direção perpendicular ao comprimento da tira de papel e essa, ao mesmo tempo, for puxada com uma velocidade constante, a areia deixará um traço diferente, que se parecerá com uma “cobrinha”. Verifica-se que a figura deixada pela areia, nessa nova situação, corresponde ao gráfico de uma função senoidal ou cossenoidal.

⁷ A foto retrata o resultado, a partir de experimentos similares realizados pelo prof. José Higino com seus alunos. A respeito dessa experiência e de outros assuntos relativos a ondas, consultar <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=31370>. Acesso em 10 nov 2018.

Esquemáticamente (e “isento” de interferências experimentais), na figura 4 é mostrado o formato de uma onda e também algumas de suas características.

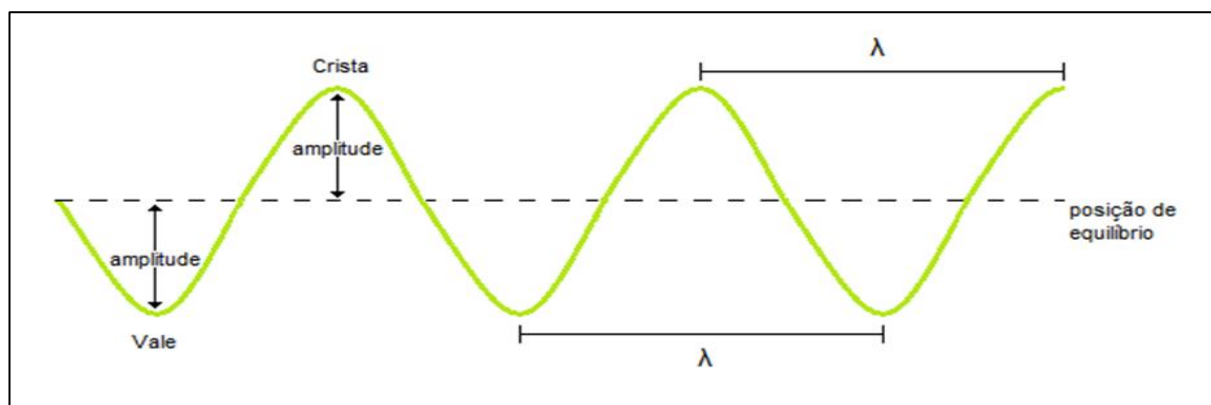


Figura 4 – Representação esquemática das características de uma onda
Fonte: AUTORA 2018

A crista e o vale correspondem respectivamente aos pontos de maior e menor amplitude da onda. A amplitude é a distância entre o ponto de equilíbrio e o valor da crista ou vale. O comprimento de onda da onda é representado pela letra grega λ , e corresponde à distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos. O período de uma oscilação é o tempo que um ponto do meio material atingido pela onda retorna à mesma posição. E frequência é a quantidade de vezes que esse ponto retorna à mesma posição durante um intervalo de tempo de um segundo.

Procurando deixar mais claros esses conceitos, podemos tomar como exemplo a onda do mar. Ela é uma onda mecânica, transversal- a água se desloca em direção à praia e, por exemplo, uma pessoa boiando na água sobe (crista) e desce (vale) quando a onda passa. O comprimento de onda é a distância entre duas ondas. O período é o tempo decorrido entre o momento em que a pessoa está no ponto mais alto da onda e quando retorna a ela, passando pelo ponto mais baixo. É o tempo do sobe-desce sentido por um banhista. A frequência, por sua vez, é a quantidade de vezes que esse movimento de sobe-desce se repete em um segundo, o que, no caso da onda do mar, é difícil de ser medido. A amplitude, por sua vez, é a altura que a onda atinge em relação ao nível do mar (por exemplo, uma onda de dois metros tem amplitude de dois metros).

A frequência e o período estão relacionados matematicamente. Quanto maior o período, menor a frequência. E vice-versa. Sua relação matemática é dada pela equação

$$f = \frac{1}{T}$$

sendo f a frequência e T o período.

A frequência e o período também estão relacionados ao comprimento de onda. Como quanto maior for a frequência menor será o período, ou seja, mais ondas passarão pelo banhista no mesmo intervalo de tempo, menor será a distância entre duas cristas de onda, ou seja, menor será o comprimento da onda.

A velocidade de propagação da onda também está relacionada a essas grandezas, pois, como já foi escrito, apesar da matéria atingida pela onda não se deslocar (você não vai em direção à praia por que foi atingido por uma onda), a onda se propaga. Considerando que a onda percorre uma distância d num intervalo de tempo, sua velocidade será dada pela distância percorrida dividida pelo tempo gasto em percorrê-la. Se considerarmos a distância percorrida igual a um comprimento de onda λ , o tempo gasto para percorrer essa distância será de um período T . Nessas condições, podemos escrever que a velocidade de propagação de uma onda (v) é dada pela seguinte equação:

$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ ou } v = \lambda f$$

A velocidade de propagação de uma onda depende do meio em que ele está se propagando. No caso do som, no ar ela é de aproximadamente 340m/s; na água, em torno de 1500 m/s, e nos sólidos pode variar de 3000 m/s a 6000 m/s, dependendo da rigidez desse meio (VILLAS BOAS, 2010, p. 199).

2.3.2 Onda Sonora

A onda sonora é uma onda longitudinal, pois as moléculas constituintes do meio (ar, líquido, sólido) quando oscilam buscam a sua posição de equilíbrio e esse movimento faz com que elas se afastem e se aproximem uma das outras, de maneira alternada, porém na mesma direção da propagação da perturbação (MAEOCA, 2012, p. 9). A onda sonora é também uma onda mecânica, pois se não houver um meio de propagação e conseqüentemente moléculas para se agitar, não há o som, por isso o som não se propaga no vácuo.

Quando uma fonte emite um som, as moléculas do ar que estão perto da fonte são comprimidas. Estas, por sua vez, comprimem as moléculas seguintes, ficando uma região rarefeita. Se não houver nada para comprimir ou expandir, ali não pode existir som algum. (MAEOCA, 2012, p. 8)

Quando se provoca uma perturbação num meio material, por exemplo, quando se vibra uma corda ou bate-se numa madeira, esse movimento gera uma pressão no meio, que é transmitida pelo meio até o chegar ao ouvido.

O ouvido humano médio é capaz de perceber frequências compreendidas entre aproximadamente 20 Hz e 20.000 Hz. Há que se considerar que pessoas diferentes podem perceber intervalos diferentes de frequências e também que a pressão provocada pela fonte produtora do som também interfere na sua percepção.

2.3.3 Qualidades fisiológicas do som

É tradicional, para a Física, classificarem as principais características de um som em altura, intensidade e timbre (HENRIQUE, 2002, p 169). A altura é uma qualidade que permite distinguir as frequências dos sons, podendo ser agudos (frequência alta) ou graves (frequência baixa). A intensidade depende da energia com que o som foi produzido. Assim, podemos ter sons fortes e fracos. E o timbre é uma característica que permite distinguir a fonte produtora do som,

Há, porém, duas formas de interpretar a altura e o timbre do som. Tudo o que há na natureza é uma consequência de um fenómeno físico, seja ele perceptível ou não aos sentidos humanos. Assim, do ponto de vista físico, a altura está relacionada à frequência, e o timbre aos modos de vibração dos harmônicos. Essas características são captadas pelo tímpano e, de acordo com a fisiologia de determinada pessoa, ela terá maior ou menor sensibilidade para distinção entre grave e agudo, alto e baixo, etc. É aí que entra a segunda interpretação, pois Henrique (2002) afirma que tanto a altura quanto o timbre, por poderem ser interpretados de maneiras distintas pelos sentidos das pessoas, esses se caracterizam como efeitos psicológicos e não físicos. Para ele, somente a intensidade se encaixa como um efeito físico.

Determinando os conceitos das qualidades fisiológicas do som a partir do aspecto físico e relacionando-os a conceitos musicais, Grillo et al. definem a altura como uma característica do som que está relacionada à frequência e que permite distinguir os sons agudos dos sons graves (2016, p 22). Villas Boas et al. definem que a altura de um som é a sensação de grave ou agudo que ele provoca. (2010 p 249). E Menezes (2003) define que

A frequência está associada à incidência vibratória no tempo, enquanto que a altura relaciona-se muito mais com a localização espacial dessa mesma percepção num registro sonoro em que as relações periódicas não conseguem mais ser discriminadas de modo consciente por nosso

entendimento ou juízo auditivo, sendo amalgamadas numa única sensação de um som, grosso modo, grave, médio ou agudo (MENEZES, 2003, p. 99).

Na música, cada nota de um instrumento corresponde a uma frequência. (MAEOCA, 2012, p. 14). Assim, as notas mais agudas são aquelas de frequência mais alta, e as notas mais graves de frequência mais baixa.

A intensidade por sua vez, está relacionada à amplitude da onda, mas não é a amplitude em si. A intensidade é relacionada com variação de pressão do meio, está ligada à quantidade média de energia que atravessa a unidade de superfície. (GRILLO et al, 2016, p 23). “A intensidade do som é um atributo físico e puramente objetivo de uma onda sonora e pode ser medido por diversos instrumentos acústicos. O volume do som, por outro lado, é uma sensação fisiológica” (HEWITT, 2002, p. 361).

Villas Boas et al. definem intensidade sonora como a potência sonora (P) recebida por unidade de área da superfície (A). (2010, p. 251). Em termos matemáticos, pode-se definir intensidade por

$$I = \frac{P}{A}^8$$

Em termos musicais, essa intensidade é indicada como *pp* (pianíssimo), *p* (piano), *mf* (meio forte), *f* (forte) e *ff* (fortíssimo) (GRILLO et al., 2016, p 23). Alguns valores desse nível de intensidade e as sensações que provocam estão apresentados na figura 5.

⁸ A unidade de intensidade sonora é o Bel. Por ser uma unidade de valores muito grandes para as medidas cotidianas, usa-se uma fração dessa unidade, o decibel (dB)



Figura 5. Níveis de intensidade sonora

Fonte: BRAGA, 2014

Timbre é a qualidade da onda sonora que permite a identificação de diferentes fontes emissoras, mesmo que os sons emitidos sejam de mesma frequência. (VALIO et al, 2014). A nota musical é uma onda simples, porém, dependendo da fonte é possível ser produzido ao mesmo tempo ondas secundárias geradas a partir de características como tamanho, formato, etc., que também são conhecidas como harmônicos. A superposição de todas as ondas produzidas pela fonte é a onda resultante. Existem dois tipos de harmônicos, o fundamental e os superiores. O fundamental está diretamente relacionado à frequência de uma nota musical, e o superior acontece a partir da emissão do fundamental. (VALIO et al, 2014)

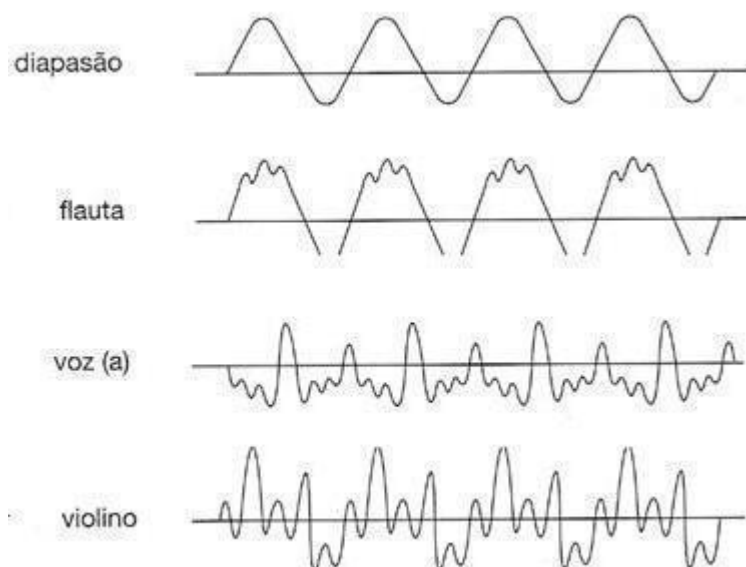


Figura 6. Exemplos de timbres para uma mesma frequência
Fonte: SOARES, 2016

Outra qualidade do som é a sua duração. Uma definição didática para duração é a apresentada por Henrique (2002):

Existem outras características do som dos quais destacamos a duração que pode ser física ou psicológica. O tempo como duração física é medido rigorosamente por aparelhos como cronômetro e relógios atômicos. O tempo psicológico é a sensação que o tempo físico provoca em nós. (p.169)

A figura 7 indica as denominações e representações utilizadas em partituras de músicas de tradição ocidental europeia para indicar o tempo de emissão de uma nota musical.

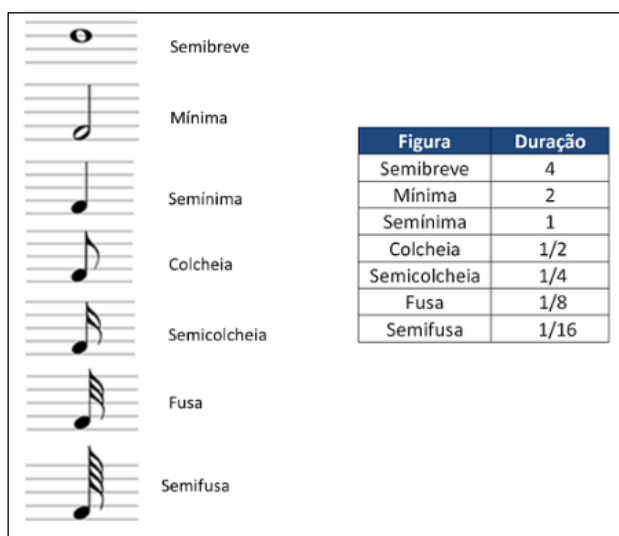


Figura 7. Duração das notas.
Fonte: Descomplicando a Música, 2017

2.3.4 Escala Musical

A palavra escala deriva do latim *scala* que significa escada. Numa escala musical as notas são ordenadas em função de suas frequências. Ao serem emitidas, proporcionam a sensação sonora de que o som está subindo ou descendo, do mais grave ao mais agudo ou vice-versa. Considerando que a música é uma expressão cultural e o ouvido humano consegue perceber pequenas diferenças de frequência sonora, existe um número bastante grande de escalas.

A escala musical está diretamente relacionada à frequência do som. Nussenzveig (1999) define o intervalo de duas notas musicais de “frequências f_1 e f_2 , pela razão das frequências f_1/f_2 . Em particular, quando $f_2=2f_1$ dizemos que é um intervalo de oitava, e os dois sons são percebidos como a ‘mesma’ nota musical em alturas diferentes.” Por convenção, se $f_1 \geq f_2$, f_1 será sempre a frequência correspondente ao som mais agudo.

Utilizando esse critério, numa escala bem conhecida na música ocidental que é a escala de dó maior, dó, ré, mi, fá, sol, lá, si, dó, os sons que a compõem são organizados de forma que as suas frequências sejam separadas por intervalos que estabelecem relações entre si. A figura 8 mostra o intervalo da escala de dó.

NOTA	dó	ré	mi	fá	sol	lá	si	dó
Intervalo acústico a partir de dó	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Intervalo acústico entre notas adjacentes	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	

Figura 8: Intervalo da escala natural a partir de dó
Fonte: Henrique, 2002, p 951

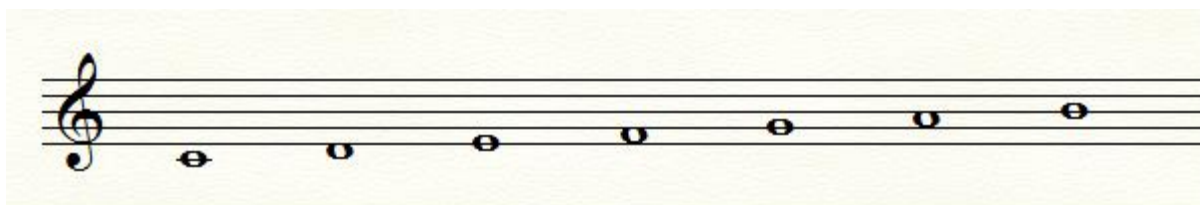


Figura 9: Representação musical da escala natural a partir de dó
Fonte: Autora

A partir desses valores podemos interpretar que a frequência de uma nota ré equivale a $\frac{9}{8}$ da nota dó nessa escala. Assim, considerando que à frequência de 132 Hz foi atribuída o nome de dó, a frequência associada à nota ré dessa escala poderá ser calculada multiplicando-se 132 Hz por $\frac{9}{8}$, o que dará um valor de 148,5 Hz; a

frequência da nota mi, por sua vez, poderá ser calculada multiplicando 132 por $5/4$, o que redundará num valor de 165 Hz, e assim por diante, até chegarmos à frequência da nota dó seguinte, que pode ser calculada multiplicando-se a frequência de 132 Hz por 2, ou seja, 264 Hz, uma oitava acima. Além disso, há que se considerar que entre uma nota e outra dessa escala existem sons que podem ser percebidos distinta e culturalmente, como por exemplo os sustenidos e bemóis, cujas frequências podem também ser calculados através dos valores indicados na figura 8.

Entretanto, considerando que a música é um bem cultural que depende de instrumentos que produzam os sons, há que se levar em conta as limitações construtivas desses instrumentos. Instrumentos como o violino e o trombone de vara, dada a sua construção, podem produzir sons de todas as frequências dentro de um determinado intervalo. Entretanto, instrumentos como o violão e o piano, cujos sons são emitidos com as cordas em posições bem definidas, não conseguem reproduzir todos os sons, o que faz com que os resultados desses cálculos não possam neles ser reproduzidos com perfeição.

Considerando essas limitações dos instrumentos e tendo em vista que somente um ouvido humano bem treinado consegue distinguir frequências de sons muitos próximas, músicos e construtores de instrumentos elaboraram uma escala que faz aproximações entre as frequências, de forma que todos os sons perceptíveis pudessem ser reproduzidos em instrumentos de teclados (piano, por exemplo), que tivessem trastes (violão) ou válvulas (a maior parte dos instrumentos de sopro), que tem limitações construtivas. Criou-se, então, uma escala de igual temperamento. Nessa escala, notas que numa escala natural têm frequências diferentes assumem a mesma frequência, que é dada por uma média das frequências de cada uma delas, gerando o que chama de enarmonia, ou seja, a mesma frequência pode corresponder a notas diferentes, como por exemplo dó# e réb ou lá# e sib.

Essa solução foi elaborada com a introdução da escala de igual temperamento, bastante divulgada por Johann Sebastian Bach, que escreveu para ela o “Cravo Bem Temperado⁹” (NUSSENZVEIG, 1999 p 135). Dividindo-se o intervalo de frequência compreendida numa oitava natural em doze partes iguais, foi possível estabelecer um conjunto de sons individuais que, no caso do piano, pudessem ser reproduzidos, nessa oitava, em apenas 12 teclas. As notas nessa escala foram denominadas Dó, dó#/réb, ré, ré#/mib, mi, fá, fá#/solb, sol, sol#/láb, lá, lá#/sib, si, dó, onde o símbolo #

⁹ O “Cravo bem Temperado” é uma coleção de músicas para o instrumento musical denominado cravo, composta por vinte e quatro pares de prelúdios e fugas para todas as tonalidades.

deve ser lido como “sustenido” e o b deve ser lido como bemol, e que no piano são obtidos pelo acionamento das teclas indicadas na figura 10.

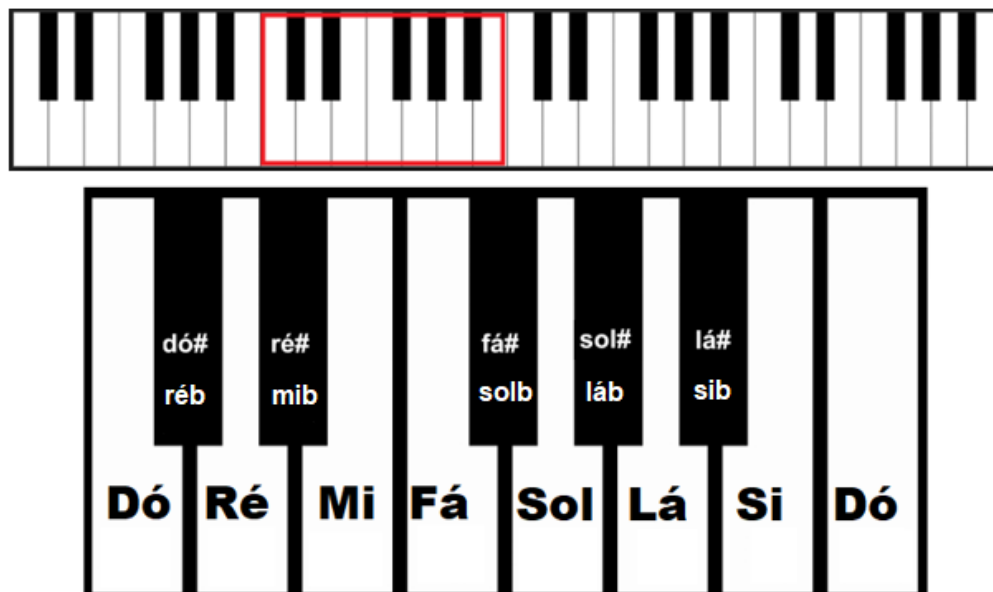


Figura 10: Teclas do piano
Fonte: Autora

As frequências associadas a essas notas, tomando-se como referência o dó (132Hz) são apresentadas na tabela que segue:

Tabela 1 – Relação entre as notas musicais, intervalos e frequências correspondentes¹⁰

<i>Nota musical</i>	<i>Intervalo com a nota fundamental</i>	<i>Afinação natural</i>	<i>Frequência (Hz)</i>	<i>Afinação temperada</i>	<i>Frequência (Hz)</i>
Dó	Dó uníssono	1/1=1,000	132	1	132
Dó #	Semitom	25/24=1,042	137,544	1,059	139,788
Ré	Segunda maior	9/8=1,125	148,5	1,122	148,104
Ré #	Segunda aumentada	76/74=1,172	154,704	1,189	156,948
Mi	Terça maior	5/4=1,250	165	1,26	166,32
Fá	Quarta perfeita	4/3=1,333	175,956	1,335	176,22
Fá #	Quarta aumentada	25/18=1,389	183,348	1,414	186,648
Sol	Quinta perfeita	3/2=1,500	198	1,498	197,736
Sol #	Quinta aumentada	25/16=1,563	206,316	1,587	209,484
Lá	Sexta maior	5/3=1,667	220,044	1,682	222,024
Lá #	Sexta aumentada	152/72=1,737	229,284	1,782	235,224
Si	Sétima maior	15/8=1,875	247,5	1,888	249,216
Dó	Oitava perfeita	2/1=2,000	264	2	264

¹⁰ Adaptado de apostila de Carlos Alexandre Wuensche de Souza, acessível pelo link http://www.das.inpe.br/~alex/FiscadaMusica/fismus_escalas.htm

2.4 Contribuições da Física para a evolução da Música

Ponczek (2002) faz uma reflexão crítica interessante acerca da concepção da construção de ciência, usualmente utilizada nos livros didáticos:

A ciência brota de nossos livros universitários, como um passe de mágica, induzindo-nos a crer que Newton tirou de sua cartola o conjunto de leis que sintetizaram toda a ciência de milênios (PONCZEK, 2002, p.21).

Essa concepção desconsidera que a ciência é o resultado de um processo coletivo de produção, atribuindo a algumas pessoas – os gênios - o poder individual de decifrar enigmas, de resolver quebra cabeças da natureza, deixando de considerar o contexto em que eles viveram e as contribuições de seus contemporâneos.

O mesmo também se aplica à evolução da Música, normalmente atribuída a gênios. Tomando isso como ponto de partida, mas considerando que também a Música é resultado de um conjunto de contribuições, é possível refletir sobre a construção da música, seus conceitos e fenômenos. Assim, de acordo com Ponczek (2002),

A música era considerada, juntamente com a geometria, a aritmética e a astronomia, uma das ciências que constituíam o *quadrivium*, constante no curriculum das universidades europeias até o final do renascimento (PONCZEK, 2002, p.24).

Hoje em dia é corriqueiro encontrar jovens, adultos, crianças e idosos imersos em seus smartphones, assistindo televisão ou utilizando o computador. Porém, esses são fatos recentes. Nem sempre houve tantas distrações assim. Os momentos de lazer estavam mais restritos a ouvir, conhecer e explicar os sons audíveis na natureza como o canto dos pássaros, o vento, o mar, etc.

Foi a partir dessa curiosidade de surgiram os primeiros indícios do que hoje denomina-se acústica musical. Retomando os primórdios da constituição desse campo de conhecimento, entre as figuras mais influentes nesta área destacam-se, entre outros, Pitágoras, Galileu Galilei, Kepler, Newton, Hooke, Sauveur, Laplace, Lagrange, Bernoulli, Euler, Chladni, Fourier, Félix Savart, Augusto Kundt, Helmholtz, Hertz, Tindall, Rayleigh, Sabine.

O pioneiro Pitágoras ganhou destaque pela utilização de um monocórdio no século VI a.C., quando, a partir desse instrumento, constatou a relação entre o comprimento de uma corda e os intervalos resultantes (oitavas, quintas e quartas). Como descrito por Ponczek,

A lei das cordas vibrantes, proposta por Pitágoras, é sem dúvida, a mais antiga lei da Física formulada matematicamente, que gera, por sua vez, o

mais antigo modelo cosmológico, a música das esferas (PONCZEK, 2002, p.29).

Galileu foi um dos primeiros a estudar rigorosamente o movimento oscilatório, e expôs, em 1638, a dedução quantitativa das leis das cordas estabelecendo as relações entre frequência, comprimento, diâmetro, densidade e tensão. (HENRIQUE, 2002, p. 20)

Antes dele, Kepler, em 1618, já havia comparado as excentricidades dos vários planetas com os intervalos da escala musical. Assim, para ele, Marte vibraria em uma quinta, Júpiter tocaria uma terça maior e Saturno executaria a terça menor. (PONCZEK, 2002, p.82).

Newton ficou conhecido por determinar a velocidade do som e em sua obra *Optics*, de 1676, defendeu que existia um paralelismo entre as cores fundamentais do espectro e as notas de uma escala. (HENRIQUE, 2002, p.22)

Hooke fez a primeira medição direta da frequência em 1681 e demonstrou uma maneira de produzir sons musicais a partir de uma roda metálica dentada. Trata-se da roda de Hooke, normalmente conhecida por roda de Savart. (HENRIQUE, 2002, p.22)

Sauveur foi o primeiro, em 1701, a utilizar a palavra acústica como ciência que estuda o som e também a apresentar o conceito físico de harmônico a partir da vibração de uma corda tensa. Foi ele quem elaborou os conceitos de nodos e ventres para caracterizar as ondas estacionárias nas cordas. Tinha como principal objetivo a compreensão da música através da acústica e é considerado criador da acústica musical. (HENRIQUE, 2002, p.23)

Laplace (1749-1827), Lagrange (1736-1813), Bernoulli (1700-1782) e Euler (1707-1783) foram os precursores do desenvolvimento da acústica teórica, ou seja, elaboradores dos cálculos que comprovam as explicações experimentais e teóricas. Laplace, assim como Newton, determinou a velocidade do som com valor próximo do real e Lagrange, Bernoulli e Euler, com os conhecimentos matemáticos aplicados à Acústica compreenderam melhor certos fenômenos como timbre, altura e transmissão dos sons nos líquidos. (HENRIQUE, 2002, p.24)

Chladni, em 1787, criou um processo, fazendo pequenas partículas vibrarem em uma placa metálica posta a vibrar, através do qual pode observar os modos vibratórios em corpos sólidos, hoje conhecidos por figuras de Chladni (HENRIQUE, 2002, p.24)

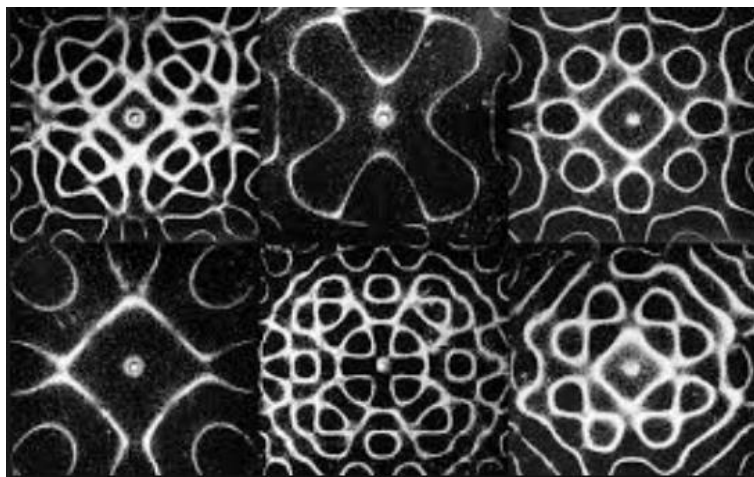


Figura 11. Figuras de Chladni
 Fonte: Desvendando meus mistérios (2014)

Fourier, em 1803, desenvolveu a famosa série de Fourier que é fundamental para o cálculo dos harmônicos.

Savart foi professor de acústica e construtor de um violino trapezoidal, além de utilizar pela primeira vez, em 1830, a roda dentada desenvolvida por Hooke, para determinar a frequência de um som.

Kundt (1839-1894), físico alemão, desenvolveu um método muito simples para o estudo da propagação do som em tubos, e particularmente para medir a propagação do som no ar e em outros gases, a partir da formação de uma onda estacionária no chamado tubo de Kundt (HENRIQUE, 2002, p.28).

Helmholtz abordou com profundidade muitos dos fenômenos principais da acústica no seu tratado de 1862, de forma que

sua teoria sobre consonância e dissonância contém muito do que hoje é aceite sobre o assunto. O modelo de vibração da corda friccionada designado movimento de Helmholtz continua a considerar-se válido. Os ressonadores por ele inventados foram fundamentais para a análise do espectro do som de muitos instrumentos musicais. Helmholtz abordou ainda entre muitos outros assuntos a síntese da voz (de sons de vogais, recorrendo a diapasões e ressonadores), e propôs uma teoria sobre a produção da voz (HENRIQUE, 2002, p.30).

Hertz (1857-1894) foi uma peça fundamental para os conceitos relacionados às ondas eletromagnéticas e por isso seu nome foi dado à unidade de frequência, simbolizada por Hz. (HENRIQUE, 2002, p.30).

Tyndall, em 1869, explicou a vibração das cordas e mostrou como obter de forma isolada seus sons harmônicos de uma corda. Também provou que o som não se propaga no vácuo. (HENRIQUE, 2002, p.31)

Rayleigh, escreveu *Theory of Sound em 1877*, se destacou pelo uso extensivo da matemática para descrição dos fenômenos acústicos. (HENRIQUE, 2002, p.32)

Paul Sabine deu importantes contribuições para o entendimento da acústica das salas, publicando “Acoustics and Architecture” em 1932.

Percebe-se assim, através de alguns exemplos, as contribuições da Física para a Música e a relevância de se estabelecer o diálogo entre essas duas áreas.

3. OS BASTIDORES DA PESQUISA (LIBRETTO¹¹)

Para Gil (2009), a pesquisa exploratória proporciona uma visão geral de um determinado fato, do tipo aproximativo. A proposta e execução de um workshop está de acordo com o tipo de pesquisa, pois a pesquisa exploratória pode envolver levantamento bibliográfico, entrevista com pessoas com experiências práticas acerca do tema pesquisado, bem como análise de exemplos que estimulem a compreensão do tema. Tem como finalidade básica “desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias para a formulação de problemas mais focados ou levantamento de hipóteses para pesquisas posteriores” (GIL, 2009, p. 27).

Para Severino (2007, p.123) a pesquisa exploratória busca apenas levantar informações sobre determinado objeto, delimitando assim um campo de trabalho”. Dessa forma a pesquisa exploratória se adequa à proposta desse trabalho.

Para isso propôs-se como etapas da pesquisa: 1. Levantamento do referencial teórico para estabelecimento dos conceitos físicos; identificação dos conceitos físicos aplicados à música e relação dos conceitos físicos e música; 2. Criação do workshop “Física e Música, um arranjo bem temperado” e aplicação do mesmo; 3. Aplicação dos questionários e Análise dos dados.

Para a criação do workshop foi elaborado um planejamento (Apêndice 1), no qual estão descritos objetivo, temas e referências teóricas bem como referências dos vídeos exibidos no workshop; questionário (Apêndice 2) a ser aplicado em duas etapas, antes (questionário 1) e depois (questionário 2) da participação no workshop para efeito de comparação dos conceitos apreendidos; roteiro de apresentação (Apêndice 3) indicando o que foi abordado; e apresentação ppt (Apêndice 4) utilizada no workshop.

3.1 Descrição do workshop

Como proposta para o workshop, os seguintes assuntos foram abordados: som, a história da acústica musical sob um olhar físico, ondas sonoras, qualidades fisiológicas do som e escala musical. Levou-se em consideração os aportes teóricos de Grillo et al, Steffani e Rui, Villas Boas et al, Henrique, Maeoca, Hewitt, Menezes, Braga, Valio et al, Frade e Nussenzweig.

¹¹ Diminutivo de “libro” passou a designar texto de uma ópera, oratório ou outra obra de características operáticas.

A concepção do workshop se deu com o estabelecimento do público-alvo, bem como as definições dos temas abordados de forma a introduzir o conceito de ondas sonoras por meio da música, que é a combinação de sons agradáveis ao ouvido. Como o diálogo entre a física e a música é o tema desse trabalho o público-alvo do workshop foram participantes do coral da UTFPR.

O som pode ser definido de uma maneira acústica e psicoacústica, mas a definição que nos interessa é a definição acústica do som. A definição psicoacústica não foi descartada, foi utilizada no começo do workshop quando foram ouvidas duas músicas e solicitado aos participantes para descreverem as sensações que essas músicas trazem, com o intuito de estabelecer uma ligação às sensações com a criação da música. Isso se deu para mostrar que a música não surgiu do nada, e que a partir dos sons comuns (natureza) os antigos buscaram reproduzir esses sons agradáveis e, conseqüentemente, matemáticos e físicos buscaram explicações matemáticas e físicas para esses sons.

Então logo em seguida, foi apresentado um breve histórico da acústica musical sob um olhar físico e quais as contribuições dos físicos e matemáticos para a criação da música.

Depois dessa apresentação, os conceitos físicos de ondas sonoras foram introduzidos como a natureza da onda e a propagação da onda, assim como as principais características das ondas. Tudo isso de uma forma lúdica com o uso de materiais como molas e cordas, e até mesmo com o uso de gás hélio para melhor compreensão dos participantes.

Como há sons em todos os lugares, e uma das características do som é a intensidade sonora, foi trabalhada a definição de intensidade, mostrando o quanto o ouvido humano pode suportar e quais intensidades sonoras estão presentes no cotidiano. Como a sensibilidade auditiva não está relacionada somente à intensidade, mas à frequência, foi definido o conceito de frequência, e quais frequências o ouvido humano tem capacidade de ouvir.

Para exemplificar o conceito de frequência e também da sensibilidade do ouvido humano, foi apresentado um áudio de uma palavra que algumas pessoas escutam como Laurel e outras escutam como Yanny, que inclusive viralizou na internet. De acordo com o áudio, a explicação dessa diferença estaria na percepção auditiva de cada pessoa, se mais sensível aos sons graves ou aos agudos.

Então finalmente os conceitos físicos e as qualidades fisiológicas do som foram apresentados de maneira lúdica com cordas e molas, até mesmo o uso de gás hélio

para melhor compreensão dos participantes. Por fim, a escala musical foi apresentada de uma maneira matemática, visto que os participantes já possuem um conhecimento básico de escala musical a partir de conceitos musicais.

Para conclusão desse trabalho, o mesmo questionário (Apêndice 2) foi aplicado no começo (Questionário 1) e no final (Questionário 2) do workshop. A única diferença entre o questionário 1 e 2 é que no segundo foi pedido que cada participante fizesse algum comentário sobre o workshop.

Foi também realizada uma transmissão ao vivo pela página do coral numa rede social, assim outras pessoas puderam assistir o workshop. Porém essas não responderam os questionários, mas ao longo da transmissão perguntas e comentários foram feitos pelos participantes internautas.

3.1.1 Participantes do workshop

O workshop “Física e Música, um arranjo bem temperado” foi realizado no dia 08 de junho de 2018 na sala do coral da UTFPR, que fica nas dependências da Universidade no Bloco V3. O grupo de participantes foi composto por nove pessoas que tinham idades compreendidas entre 17 e 60 anos, sendo cinco homens e quatro mulheres. O nível de escolaridade também foi levado em consideração, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Perfil dos participantes

<i>Participante</i>	<i>Idade</i>	<i>Escolaridade</i>		
		<i>Fundamental</i>	<i>Ensino Médio</i>	<i>Curso Superior</i>
1	Mais de 40	Particular	Particular	Completo
2	Mais de 40	Público	Público	Completo
3	Mais de 40	Não respondeu	Não respondeu	Completo
4	Entre 21 e 25	Público	Público	Completo
5	Entre 15 e 20	Não respondeu	Público	Não respondeu
6	Entre 31 e 35	Particular	Particular	Completo
7	Entre 26 e 30	Particular	Particular	Completo
8	Mais de 40	Não respondeu	Não respondeu	Completo
9	Mais de 40	Não respondeu	Não respondeu	Completo

A escolha do grupo se deu principalmente pelo tema desse trabalho que é um diálogo entre a Física e Música, razão pela qual foram escolhidas pessoas que já possuíam afinidade com um dos interlocutores do diálogo, no caso, a música.

3.1.2 O Coral da UTFPR

O coral da UTFPR foi fundado em 1966 e acompanhou, ao longo de seus cinquenta e dois anos, as mudanças e desenvolvimentos da instituição que representa. Seu criador foi o Maestro Francisco César Leining, com o auxílio do professor Wilson dos Santos.

O Coral da UTFPR já foi dirigido por oito maestros e maestrinas. Todos com diferentes repertórios e linhas de atuação, mas sempre buscando o alinhamento entre os benefícios do canto coral para seus integrantes e a comunidade em busca de qualidade artística e técnica na representação da instituição.

Hoje o coral da UTFPR é um Programa de Extensão de Canto Coral, intitulado Vozes da Tecnológica e possui nove projetos envolvendo o canto coral, sendo cinco corais: Grupo de Música Popular Terça Maior; Vocal Feminino Boca do Brilho; Coral infanto juvenil UTFPR; Coro Entrevoz e o Coral da UTFPR. Um projeto que capacita regentes corais, o Encontro de corais da UTFPR, o projeto Coral UTFPR Na Estrada e um projeto com bolsistas “Corais UTFPR: tecnologia, mídias sociais e metodologias ativas para potencialização da educação musical coletiva e ampliação da formação da plateia”. Atualmente está sob a regência da Maestrina Priscilla Prueter.

4. ANALISE E DISCUSSÃO (CADENZA¹²)

As perguntas do questionário (Apêndice 2) foram elaboradas considerando cada momento do workshop “Física e Música, um arranjo bem temperado” e foram aplicadas em dois momentos: antes e depois do ao workshop, visando verificar os efeitos do seu desenvolvimento junto aos participantes. Nesse sentido, o Questionário 1 funcionou como pré-teste e o Questionário 2 como pós-teste.

No workshop os temas apresentados foram: conceito de som, história da acústica, ondas sonoras, sensibilidade sonora (intensidade e frequência), qualidades fisiológicas do som e escala musical, conforme sequência mostrada no roteiro do workshop (Apêndice 3). A atividade foi desenvolvida seguindo uma apresentação em power point, cujos slides estão no Apêndice 4.

A análise da atividade será feita seguindo a sequência sugerida nos questionários e nos slides.

4.1 Som

O primeiro conceito trabalhado no workshop foi som, conforme slides 2 e 3. Para essa conceituação valeu-se do aporte teórico de Grillo et al (2016) e Henrique (2002).

Em relação à primeira pergunta aplicada “Como um som é produzido?”, sete participantes responderam no Questionário 1 que o som é produzido por vibração, ondas ou frequência. Toma-se como exemplo o Participante 1, que respondeu: “Através da pressão exercida nas moléculas da atmosfera e transmitido em ondas a partir do emissor”. Dois participantes responderam que não sabiam a resposta.

Foi apresentado o conceito de som sob dois olhares, físico e psicofísico, segundo Henrique (2002).

Um conceito apresentado que não foi discutido no questionário foi a relação psicofísica do som (slides 4, 5, 6 e 7 do Apêndice 3). Ou seja, as sensações que temos ao escutar determinados sons. Duas músicas foram tocadas e os participantes descreveram a sensações que tiveram.

¹²Cadenza é uma passagem virtuosística, frequentemente baseada em temas expressos anteriormente na obra, na qual o solista tem oportunidade de mostrar sua técnica.

A primeira música foi “Once upon a time in Africa” de Hans Zimmer, música da trilha sonora de um filme infantil. As sensações descritas pelos participantes foram de estar numa aventura, o cenário seria numa selva e que essa aventura teria bons e maus momentos. A música não tem letra, é apenas instrumental e o nome da música só foi revelado após a descrição dos sentimentos. “É interessante perceber que mesmo sem letra a música pode nos contar uma história”, afirmou um dos participantes. Reação compartilhada pelos demais participantes.

A segunda música apresentada foi o quarto movimento da Sinfonia no. 6 de Beethoven. Para um dos participantes, “essa rapsódia traz uma sensação drama, como se você estivesse num lugar um pouco mais escuro e sem saber o que vai acontecer”, estando essa percepção presente na maioria das demais respostas. As duas músicas apresentam uma sensação de aventura, uma aventura mais alegre e outra mais dramática.

Retomando o conceito físico de som, no Questionário 2, na pergunta “Como o som é produzido”, todos os participantes responderam que som é produzido por ondas sonoras, ou vibrações de objetos. Os dois participantes que anteriormente não sabiam responder essa questão, responderam “Através da pressão atmosférica” e “pela emissão de ondas sonoras”. O que leva a indícios de que houve apreensão do conceito.

4.2 Física e Música

A segunda pergunta foi formulada de maneira a investigar se os participantes tinham conhecimento de algum conceito de Física que tivesse relação com a Música, objetivo do presente trabalho: “Você tem conhecimento de algum conceito de Física que tenha relação com a música? Por favor, explique sua resposta, cite algum exemplo”. Portanto, essa pergunta se constitui em ponto central para perceber o diálogo perdido entre Física e Música.

Quatro participantes tentaram desenvolver alguma ideia no Questionário 1, como no caso o Participante 3 que respondeu: “somente das aulas escolares, no que diz respeito a frequência/ondas”. Cinco participantes não lembravam ou não sabiam, como o Participante 2 que respondeu “não me lembro; mas intensidade”.

No Questionário 2, as respostas da segunda pergunta foram elaboradas de maneira satisfatória, pois pelo menos algum conceito apresentado durante o workshop foi citado, como no caso do Participante 3, como apresentado na Figura 12.

Questionário 1	Questionário 2
“Somente nas aulas escolares, no que diz respeito a frequência/ondas”.	“Sim, os estudos sobre acústica, onde se faz uma correlação entre o elemento emissor, o meio e ouvido.”

Figura 12: Questionário 1 e 2 – Participante 3

Destaca-se a resposta do Participante 7, que no Questionário 1 apontou não se lembrar de nenhum conceito, e no Questionário 2 afirmar que “Física e Música estão intrinsicamente relacionadas, foram apresentados vários conceitos, adorei”.

Outro destaque é o do Participante 4, que no Questionário 1 respondeu: “Vibração de cada nota, emitida em determinada frequência” e no Questionário 2, “Acústica, que calcula/mede/analisa as frequências emitidas”.

4.3 História da acústica e conceitos físicos

Outro tópico que não foi abordado no questionário foi a contribuição dos físicos para a história da Música e como a história da Física está relacionada com a história da Música. Nesse tópico ficou evidenciado o quão importante é o diálogo entre a Física e a Música, sendo apresentado que, antigamente, a Música fazia parte do *quadrivium*, que eram as disciplinas básicas do ensino medieval.

Após essa apresentação mais teórica, apoiada em três vídeos para ilustração (conforme referências no Apêndice 1), aspectos relacionados ao conceito físico de ondas foi desenvolvido. Para a explicação sobre ondas utilizou-se o quadro branco, uma apresentação em *power point*, molas e corda. Foram apresentados os conceitos em relação às características das ondas, como cristas, vales, amplitude, comprimento de onda, frequência e velocidade de propagação. Nesse tópico as atividades do workshop começaram a ficar mais lúdicas e envolventes, havendo inclusive a ajuda dos participantes para as demonstrações dos conceitos.

4.4 Propagação do Som em meios diferentes

Para a discussão da dependência da velocidade da propagação do som em meio diferentes, foi utilizado o gás hélio. Dada a mudança da natureza do gás que seria aspirado, todos os cuidados foram tomados para essa atividade.

Na pergunta do questionário 1 relacionada à propagação do som: “Onde uma onda sonora se propaga com maior velocidade? Apresente uma justificativa para sua resposta”, estas opções foram colocadas: “numa barra de aço, na água, no ar ou no

vácuo”. Quatro participantes responderam “numa barra de aço” e cinco participantes responderam “no ar”. No questionário 2 todos os participantes responderam “no vácuo”

A respeito da dependência que há entre a velocidade de propagação do som e o meio material em que ele se propaga, foi proposta uma dinâmica utilizando o gás hélio. Para cada um dos participantes foi fornecido um balão com um pouco de gás hélio. Cada um deles deveria aspirar o gás hélio e depois cantar um pequeno trecho de uma música ou somente falar. Ao cantarem ou falarem, expirando o gás hélio, eles perceberam que sua voz soava diferente, mais aguda. Cessado o efeito do gás hélio, notaram que sua voz voltava ao normal. A seguir foi estabelecido um debate entre os participantes para analisar o que havia ocorrido e a razão da mudança da tonalidade da voz.

O uso do gás hélio para essa dinâmica teve o objetivo de demonstrar que, de fato, o som se propagava com velocidades diferentes em meios materiais diferentes. Considerando que o grupo participante era formado por coralistas, fez sentido mostrar que o som emitido pelas vozes quando se propagava num meio material diferente do usual, que é o ar, algumas propriedades do som se modificavam, por conta da diferença de velocidade do som. Para essa dinâmica os participantes cantaram uma música conhecida pelo grupo.

Normalmente quando nossas cordas vocais emitem um som, na nossa garganta ele está se propagando no ar a uma determinada velocidade. Quando os participantes aspiraram o gás hélio, a emissão do som, na garganta, não foi feita no ar, mas sim, num outro meio, o hélio. E quando isso aconteceu, eles perceberam que, além de distorcida, a voz ficava mais aguda. Considerando que o aparelho fonador (as cordas vocais) não se modificava, e o som estava mais agudo, isso indicou que a frequência da onda produzida era maior e isso só poderia ter sido possível se o som, na garganta, tivesse se propagado com maior velocidade. Demonstrou-se assim, de uma forma envolvente e considerada engraçada pelos participantes, que dependendo do meio material, o som se propaga com velocidades diferentes.

4.5 Sensibilidade sonora

O conceito de intensidade sonora e frequência foram discutidos, mas em relação à percepção do ouvido humano, à sensibilidade que temos aos sons e ruídos.

Uma tabela foi utilizada na apresentação. Então um assunto que foi polêmico na época do workshop sobre a percepção auditiva foi abordado.

Tratava-se de um áudio em que algumas pessoas escutam a emissão como Yanny e outras pessoas escutam como Laurel. Foi apresentado então um vídeo¹³ de uma reportagem que o programa Fantástico, da rede Globo, que mostra o áudio de Laurel e Yanny e mostra também um áudio que mostram as frequências perceptíveis ao ouvido humano. O vídeo Yanny e Laurel gerou muitas discussões e conflitos, pois quase todos os participantes escutaram a palavra Yanny, sendo que a palavra correta é Laurel. Além desse vídeo¹⁴, outro sobre frequências audíveis também foi apresentado. Era um vídeo curto que mostrava a reação de pessoas a sons de frequências variando de 20Hz até 20kHz, que permitiu trabalhar muito bem o quesito de percepção.

Após toda discussão gerada a partir da apresentação dos vídeos, foram então trabalhados os conceitos das qualidades fisiológicas do som: altura, Intensidade, timbre e duração.

4.6 Altura

Enfim a terceira pergunta do questionário foi relacionada à altura do som. Para que a temática estivesse mais próxima da realidade dos participantes, a pergunta foi exemplificada pelos naipes compostos nos corais: “Um coral é composto por no mínimo quatro naipes. Em qual naipe a frequência do som é maior? Soprano, Tenor, Contralto ou Baixo”. O participante tinha que justificar a sua resposta.

Seis participantes responderam corretamente a essa pergunta no Questionário 1. Um não respondeu e dois responderam que era o naipe dos baixos, quando na verdade o naipe que possui a frequência maior é o naipe das sopranos, pois elas são as que cantam mais agudo dentro do canto coral.

A altura do som está relacionada a frequência; quanto maior a frequência, mais agudo é o som. Sendo assim a altura não está vinculada ao volume do som, mas sim à sua frequência: frequência maior, som mais alto, mais agudo; frequência menor, som mais baixo, mais grave. Para demonstrar esses conceitos teóricos fez-se uso de um piano existente na sala do coral.

¹³ Fantástico - Descubra a resposta para o áudio que dividiu a internet: é 'yanny' ou 'laurel'? Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9shY6CASBYo>, acesso em junho de 2018

¹⁴ Frequência de sinal em Hz- de 20 a 20k, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-bjvZDhScbs>, acesso em junho de 2018

Verificou-se que a questão foi perfeitamente compreendida porque no questionário 2 todos os participantes marcaram a opção das sopranos, explicando corretamente a sua resposta.

4.7 Intensidade

A quarta pergunta também foi trazida para a realidade dos participantes, perguntando sobre intensidade sonora relacionando-as a dinâmicas musicais que compõem uma interpretação musical. Algumas dessas dinâmicas se caracterizam como: “Piano, meio forte, forte e fortíssimo” e são indicadas nas partituras musicais, como na figura 13



Figura13. Representação de dinâmicas musicais
Fonte: Kyrie Eleison – Petite Messe Solennelle, Gioachino Rossini. 1863

Nessa figura, **f** indica a dinâmica do forte e o **pp** indica o pianíssimo, sendo o forte a dinâmica com maior intensidade sonora, e o pianíssimo a que deve ser emitida com a menor intensidade. Então, como foi pedido que as dinâmicas fossem classificadas do som de menor intensidade para o de maior, a respostas correta deveria ser: (1) piano (2) meio forte (3) forte (4) fortíssimo.

Dos nove participantes do workshop, dois não responderam a essa pergunta no Questionário 1, dois responderam errado e cinco responderam corretamente. Para mostrar a relação entre intensidade e as dinâmicas, os participantes cantaram uma música conhecida do grupo, com a maestrina indicando as dinâmicas de uma maneira gestual para cantar piano, forte e fortíssimo. Nesse experimento foi possível mostrar que não era preciso mudar a nota, mas sim a intensidade com que ela estava sendo cantada. que canta. No Questionário 2 sete participantes responderam corretamente e dois não responderam.

4.8 Timbre

A pergunta relacionada ao timbre tinha o seguinte enunciado: “Podemos distinguir sons produzidos por instrumentos musicais diferentes. Como isso é possível”? Ao responderem, um participante disse que não sabia a resposta. Os outros participantes escreveram que é possível distinguir pela característica do instrumento se ele é de corda ou de sopro (Participante 9) ou o participante 8 que escreveu “a meu ver pelo timbre, vibração ou algo similar, por exemplo, distingue-se com facilidade de corda ou sopro.”

A explicação do timbre, matematicamente falando é a mais complexa, pois os harmônicos podem ser explicados por série de Fourier. Mas os harmônicos podem ser facilmente demonstrados por sobreposição de ondas. Então, para essa demonstração foi utilizado a corda e um participante voluntário. Com a corda conseguiu mostrar dois harmônicos. Um vídeo que mostra a diferença do som emitido por uma viola e por um violino também foi utilizado para demonstração do timbre. Outras atividades relativas ao timbre foram desenvolvidas ao final do Workshop e poderia ter sido até mais explorado, com a utilização de softwares livres.

Após a explanação, no Questionário 2 o participante que havia respondido que não sabia no questionário 1, respondeu que “por causa do timbre e da frequência”. O Participante 8 escreveu “pela diferença do timbre”. Todos os participantes responderam pelo timbre.

4.9 Duração e Escala Musical

Nenhuma pergunta do questionário foi dedicada a esse tópico, pois os dois conceitos são mais musicais do que propriamente físicos. Mas para abordar duração foi realizado uma dinâmica com palmas, onde cada palma demonstrava o tempo de acordo com o compasso determinado pela maestrina.

A escala musical foi apresentada de maneira matemática seguindo o aporte teórico de Nussenzweig onde duas tabelas foram mostradas de acordo com o slide 33 do apêndice 4. Para fechar as apresentações do workshop foi reproduzida uma das peças de “O Cravo bem temperado”, composto por Johann Sebastian Bach.

4.10 Comentários

Como apontado anteriormente, no Questionário 2 foi pedido que cada participante escrevesse um comentário sobre o workshop. Sete participantes atenderam à solicitação, cujos comentários estão apresentados na Tabela 3.

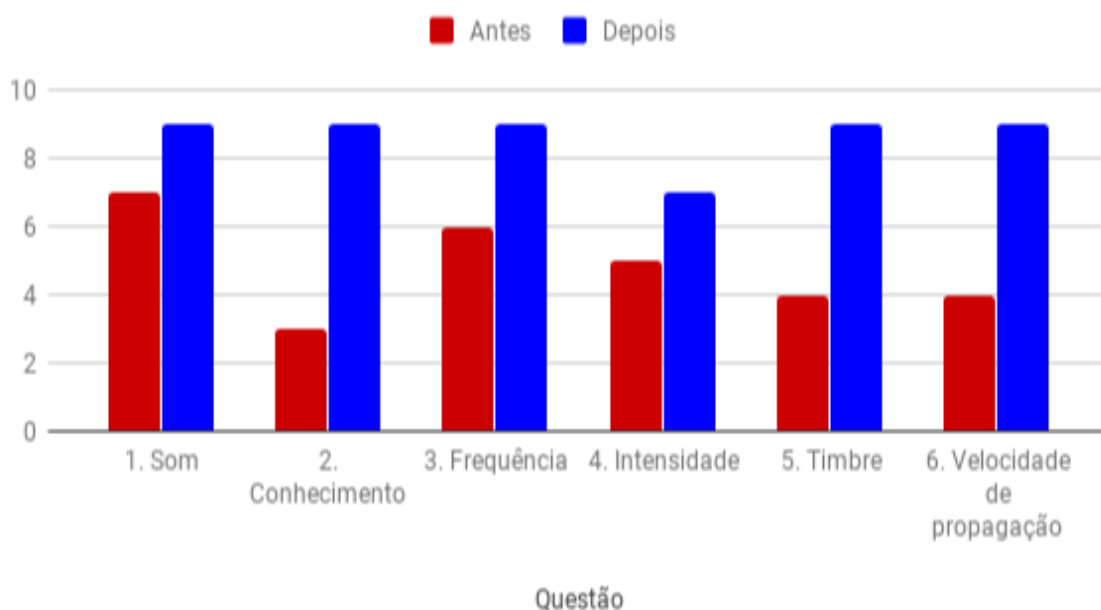
Tabela 3 – Comentários dos participantes

<i>Participante</i>	<i>Comentário</i>
1	Ótima didática da professora, os exemplos e dinâmicas foram muito boas.
2	Muito produtivo, aprendi demais
3	Adorei a explanação, esclarecedora, com alegorias que ilustram bem o conteúdo.
4	Você foi maravilhosa, didática, excelente e superconcentrada, com ótimos exemplos.
5	Obrigada pelo ótimo programa de sexta-feira, foi uma das únicas vezes que eu consegui entender física sem esforço. Espero ter mais aulas assim.
7	Show
8	Gostei bastante das explicações sobre a correlação da física com a música.

O workshop também foi exibido em tempo real na página do Coral da UTFPR numa rede social. Alguns comentários postados também foram interessantes:

- “Grandezas sonoras: Altura, intensidade... muito interessante essa conceituação e diferenciação técnica... (Lindo esse som... Vozes lindas!!!)”
- “Timbre confunde um pouco na avaliação dos graves de um baixo... às vezes o timbre causa a impressão de um grave um pouco mais profundo e o piano revela que não.”
- “Todos os grupos corais deveriam assistir essa palestra!!!”

Considerando que o público alvo já tinha uma ligação com a Música, percebeu-se que o diálogo da Música com a Física ficou facilitado para o entendimento dos conceitos propostos, conforme mostrado no gráfico a seguir:

Gráfico 1 Análise de respostas certas antes de depois do workshop

O gráfico demonstra que quase todas as respostas foram completamente satisfatórias após a execução do workshop. A pergunta que teve o menor índice de aproveitamento foi a questão 4, sobre intensidade. Um dos motivos pode ter sido a falta de uma explicação mais efetiva sobre as dinâmicas, ou mesmo a maneira que a pergunta foi colocada no questionário, que poderia ter sido escrita de forma mais clara, tendo em vista que um dos participantes apenas marcou x em uma das opções em vez de fazer a escala de 1 a 4 como pedido e outro respondeu a escala ao contrário, indicando fortíssimo para a dinâmica menos intensa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS (CODA¹⁵)

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

O presente trabalho buscou por meio de um arranjo entre Física e Música apresentar possibilidades para o ensino de Acústica. Não é preciso estudar Física para ser um bom cantor ou um bom conhecedor de música. E também não é necessário a utilização de conceitos musicais para ensinar Acústica. O fato de aproximar Música e Física é utilizar a interdisciplinaridade entre esses campos de conhecimento como os próprios PCN apontam.

Ao pesquisar sobre Física e Música percebeu-se a relação estabelecida entre essas áreas, com a evolução tanto da Música quanto da Física através dos físicos estudados como, por exemplo, Pitágoras e Galileu. A importância de atividades como as propostas no Workshop se sobressai porque, com tempo, perdeu-se esse contato visível entre a física e música.

A atividade demonstrou que, por ter um efeito interessante, poderia ter sido mais explorado o lado psicoacústico que a música traz, como as memórias e histórias que a música pode proporcionar. Mostrou também que o simples fato de oscilar uma corda e mostrar como a onda se propaga possibilitou trazer uma percepção diferenciada da Física, desfazendo um pouco do estigma que a mesma se confunde como uma disciplina totalmente matemática e muitas vezes não apreciada na escola.

Ressaltou também que alguns autores compartilham da mesma paixão pela Física e a Música, como por exemplo o pesquisador Luís L. Henrique, um dos autores mais citados nesse trabalho, um autor português cuja obra inspira um estudo mais aprofundado do assunto de Acústica a partir da Música, indicando que muito ainda se pode trabalhar nessa área. Mostrou também que as dinâmicas apresentadas no workshop podem ser aplicadas em sala de aula ou em espaços não formais de educação, com pessoas que possuem algum interesse em saber como esses dois conhecimentos, ciência e arte, se conversam.

O desenvolvimento do workshop bem como o levantamento teórico a respeito da temática proporcionou uma visão diferenciada da Física, que antes existia de uma maneira não concreta, mantida apenas pela paixão entre as duas áreas. O aprofundamento dos estudos dos conceitos permitiu perceber a possibilidade do

¹⁵ É a sessão com que se termina a música.

diálogo, que foi sendo traçado, arranjado de uma maneira harmônica entre a Física e a Música, e sinalizou que outras experiências dessa mesma natureza poderão ser desenvolvidas, com ampliação de participantes e de tempo de realização.

Ao finalizar, posso dizer que é possível, sim, estabelecer esse diálogo e fazer um novo arranjo. O workshop foi apenas uma pauta em branco esperando a melodia acontecer. E quem faz essa melodia? Nós, alunos e professores de Física, de Música, os maestros, os amantes e interessados em Física e em Música.

A interdisciplinaridade é o novo tema com variações a ser explorado. Não é preciso reinventar os conceitos de Física nem de Música, é preciso apenas saber interpretar. E quem vai cantar e encantar esse arranjo seremos todos nós.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. A. A. (2006). A ciência como forma de conhecimento. **Ciências & Cognição**; Ano 03, Vol 08. Disponível em www.cienciasecognicao.org Acesso em: 10 abril 2018

AUGUST, Rush. [s.i]: Richard Barton Lewis, 2007. P&B.

BRAGA, Newton C. **Medida de nível sonoro**. (INS576). Julho de 2014 acesso em julho de 2018. Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/component/content/article/52-artigos-tecnicos/artigos-diversos/9299-medidas-de-nivel-sonoro-ins576?tmpl=component&print=1&page=> Acesso em julho de 2018.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: **Ciências da natureza, Matemática e suas Tecnologias– Física**. Brasília: MEC/SEF, [2002]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf> >. Acesso em: 22 mai. 2018

BERKOVITS, Nathan. **Música e som**. Roda de conversa realizada no dia 2 de março de 2018 no Instituto Moreira Salles (IMS). Disponível em http://agencia.fapesp.br/musica_em_supercordas/27329/. Acesso em março de 2018.

CONCEIÇÃO, Monique Osório Talarico da et al. Uma proposta de utilização da acústica musical no ensino de física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA 2009, Vitória. **Atas**. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_umapropostadeutilizacaod.trabalho.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2018

COSTA, Ana Cristina Sprotte; LANGE, Emanuele; FONSECA, Ana Letícia D'oleira; SANTOS, Hellen Janaina Paixão dos. Interdisciplinaridade como prática pedagógica capaz de superar o problema do analfabetismo científico no ensino da física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA. 2007, São Luís. **Atas**. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0032-1.pdf> Acesso em: 08 abr. 2018

DESCOMPLICANDO A MÚSICA. **Curso em vídeo aulas**. Postagem em 14 de janeiro de 2017. Disponível em <http://www.descomplicandoamusica.com/figuras-musicais/> Acesso em julho de 2018.

DIOGO, Rodrigo Claudino; GOBARA, Shirley Takeco. Um ambiente virtual para introduzir conceitos sobre ondas sonoras: o desafio “abaixe o volume”. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2009, Vitória. **Atas**. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0329-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

FREITAS, Deicielle Souza de et al. Reflexões sobre a implementação de um planejamento didático envolvendo a física dos instrumentos musicais no ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2013, São Paulo. **Atas**. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0544-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GRILO, Maria Lucia; PEREZ, Luiz Roberto (org.). **Física e música**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

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

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. Trad. Triste Freire Ricci. Maria Helena Gravina. Porto Alegre: Artmed 2002. 9º ed. Reimpressão 2008. Editoração eletrônica Laser house.

LÜCK, H. **Pedagogia Interdisciplinar — Fundamentos Teóricos-Metodológicos**. Petrópolis: Vozes, 1994.

MAEOCA, Gláucia da Silva; GOBARA, Shirley Takeco. Construção de um instrumento musical de sopro para auxiliar na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2011, Manaus. **Atas**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0598-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

MAEOCA, Gláucia da Silva. **Construção de instrumentos musicais artesanais por aluno, para auxiliar na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras**. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino em Ciência, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2012. Disponível em: <<https://posgraduacao.ufms.br/portal/trabalho-arquivos/download/577>>. Acesso em: 10 maio 2018.

MATTIUCI, Ana Carolina; SANTOS, Zanoni Tadeu Saraiva dos. Oficinas de som: relações entre física e música nas séries iniciais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2013, São Paulo. **Atas**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0553-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

MENEZES, F. **A acústica musical em palavras e sons**. Cotia, SP: Ateliê editorial, 2003.

MOZENA, E. R., OSTERMANN, F. **Sobre a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e o Ensino de Física**. Editorial do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 2, p. 327-332, ago. 2018

NASCIMENTO, Cláudia Santos do; GOBARA, Shirley Takeco. Uma introdução para o ensino de ondas sonoras. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2007, São Luís. **Atas**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0490-3.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**, v. 2, São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

PONCZEK, Roberto Leon. Da bíblia a Newton: uma visão humanística da mecânica. In: ROCHA, José Fernando M. (ORG.) **Origens e evolução das ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROMANELLI, Guilherme. **Porque a música fala a língua da ciência?** Palestra proferida no evento *Pintof Science Festival* em Curitiba, em maio de 2018.

ROSA, Luiz Felipe de Moura da; OLIVEIRA, Luciano Denardin de. Avaliação da evolução das ideias dos alunos sobre o som a partir do uso de uma ueps. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2017, São Carlos. **Atas**. Disponível em: <<http://www1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxii/sys/resumos/T0813-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

RUI, Laura Rita; STEFFANI, Maria Helena. Física: Som e audição humana. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2007, São Luís. **Atas**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0376-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

SEABRA, Maria Emilia Faria; MACIEL, Antônio Marcelo Martins. Música como tema para o ensino de física por projeto. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2015, Uberlândia. **Atas**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0612-3.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, Sergio Tobias da; AGUIAR, Carlos Eduardo. Propagação do som: conceitos e experimentos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2009, Manaus. **Atas**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0244-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018

TAVARES, Juliana Rocha; SOUZA, Marcelo de Oliveira. Uma proposta para a apresentação de conceitos de acústica no ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2007, São Luís. **Atas**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0291-1.pdf>>. Acesso em: 10 mai 2018.

VALIO, A. B. M.; FUKUI, A.; BASSAN, F.; OLIVEIRA, G. A.; MOLINA, M.; OLIVEIRA, V. S. **Ser protagonista: Física: Competência ENEM**. Obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM. São Paulo: Edições SM, 2014.

VILLAS BOAS, Newton et al. **Física**, v. 2, São Paulo: Editora Saraiva. 2010

APÊNDICES

Apêndice 1 – Proposta do workshop para o TCC

Apêndice 2 – Questionários1 e 2

Apêndice 3 – Roteiro de apresentação do workshop

Apêndice 4 – Slides da apresentação

Apêndice 1 – Proposta de Atividade do Workshop

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA



PROPOSTA ATIVIDADE DO WORKSHOP

NOME	Élida Laureano Rodrigues
Data:	08/06/2018
Horário:	19h 15min
Duração:	2h 30 min

Tema: Acústica
Objetivo: Compreender conceitos de acústica Identificar conceitos físicos em práticas musicais
Conteúdos: HISTÓRIA DA ACÚSTICA MUSICAL (sob um olhar físico) ONDAS SONORAS CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS ESCALA DE FREQUENCIA E INTENSIDADE QUALIDADES FISIOLÓGICAS DO SOM ESCALA MUSICAL
Estruturação do curso: Aplicação do questionário (máximo 15 minutos) Introdução do conteúdo perguntando o que é som. (5 minutos) HISTÓRIA DA ACÚSTICA MUSICAL (sob um olhar físico) Slides mostrando contribuições de físicos para a história da acústica musical. (15 minutos) ONDAS SONORAS CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS Cristas, vales, amplitude, comprimento, frequência e velocidade de propagação (20 minutos) ESCALA DE FREQUENCIA E INTENSIDADE Quadro de níveis sonoros típicos no dia a dia (15 minutos) QUALIDADES FISIOLÓGICAS DO SOM Altura, Intensidade e Timbre (20 minutos) ESCALA MUSICAL (10 minutos) Escala musical não temperada e temperada Aplicação do questionário.
Ambientes/recursos didáticos: Sala do coral; Computador com projetor; Piano; Gás hélio; Vídeos - Links: OuvirAtivo - Figuras de Chladni https://www.youtube.com/watch?v=ehhQsQraAho Tubo ressonante - https://www.youtube.com/watch?v=37Kw61271Cs Fantástico - Descubra a resposta para o áudio que dividiu a internet: é 'yanny' ou 'laurel'? https://www.youtube.com/watch?v=9shY6CASBYo Vídeo de intensidade- Mozart Requiem - Lacrimosa – Herrwegge- https://www.youtube.com/watch?v=Ym8b3bC_Fq4&t=63s

Diferença entre violino, viola e viola caipira - <https://www.youtube.com/watch?v=3-7NnLQ2e-U>

Bach_ The Well Tempered Clavier - Book 1 (Scrolling) – (corte)
<https://www.youtube.com/watch?v=HIXDJhLeShg&t=107s>

Referências:

GRILO, Maria Lucia; PEREZ, Luiz Roberto (org.). **Física e música**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

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

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**, v. 2, São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

Apêndice2 – Questionários 1 e 2

Questionário1

Workshop – Física e Música, um arranjo bem temperado.

NOME: _____

Idade: () entre 15 e 20; () entre 26 e 30; () entre 36 e 40

() entre 21 e 25; () entre 31 e 35; () mais de 40

Escolaridade:

Fundamental: () Público () Particular () Público e Particular

Ensino médio: () Público () Particular () Público e Particular

Curso superior: () Completo () Em curso

Como um som é produzido?

Você tem conhecimento de algum conceito de Física que tenha relação com a Música? Por favor, explique sua resposta, cite algum exemplo.

Um coral é composto por no mínimo 4 naipes. Em qual naipe a frequência do som é maior?

() Soprano () Tenor () Contralto () Baixo

Por quê?

Classifique as dinâmicas (musicais) de acordo com sua intensidade sonora, sendo 1 a menor intensidade e 4 a maior.

() Piano () Meio forte () Forte () Fortíssimo

Podemos distinguir sons produzidos por instrumentos musicais diferentes. Como isso é possível?

Onde uma onda sonora se propaga com maior velocidade? Apresente uma justificativa para sua resposta.

() numa barra de aço () na água () no ar () no vácuo

Questionário 2

Workshop – Física e Música, um arranjo bem temperado

NOME:

Como um som é produzido?

Você tem conhecimento de algum conceito de Física que tenha relação com a Música? Por favor, explique sua resposta, cite algum exemplo.

Um coral é composto por no mínimo 4 naipes. Em qual naipe a frequência do som é maior?

Soprano Tenor Contralto Baixo

Por quê?

Classifique as dinâmicas (musicais) de acordo com sua intensidade sonora, sendo 1 a menor intensidade e 4 a maior.

Piano Meio forte Forte Fortíssimo

Podemos distinguir sons produzidos por instrumentos musicais diferentes. Como isso é possível?

Onde uma onda sonora se propaga com maior velocidade? Apresente uma justificativa para sua resposta.

numa barra de aço na água no ar no vácuo

Comentários:

Apêndice 3 – Slides (texto)

Física e Música – Um arranjo bem temperado

Slide 1 – Apresentação da proposta do workshop. E aplicação do questionário. Perguntar aos participantes o que é som, deixar eles responderem.

Slide 2 – Apresentar o significado do som a partir da perspectiva física e psicofísica. Identificar a diferença entre sons agradáveis e desagradáveis.

Slide 3 – Apresentar a definição de som numa perspectiva da física, apontando os aspectos que serão estudados durante a atividade.

Slide 4 e 5 – Falar sobre o som a partir da perspectiva da psicoacústica. Trazer a ideia da percepção musical, que tipo de sensação a música traz. Música escolhida: Onde upon a Time in africa (3min44s), perguntar que sensações a música trouxe.

Slide 6 e 7 – Outra música para trabalhar com os sentidos. Música escolhida Beethoven Symphony No.6 IV. (3min30s). A partir da memória afetiva dos participantes abrir um debate sobre suas memórias musicais para assim relacionar a história da acústica e seu papel na reconstrução dos sons da natureza.

Slide 8 ao 21 - resumo do capítulo 2 do livro de acústica musical

Slide 8, ao 16 – Explicar sobre cientistas e seu papel na história da acústica.

Slide 17 – Ainda sob um olhar físico, (vídeo sobre as figuras de Chlandi 1min 20s). Explicar o motivo da formação dos desenhos abordando ondas estacionárias. Mostrar as ondas estacionárias numa mola ou corda (explicar de uma maneira bem simples, sem entrar em muitos detalhes, a não ser que tenha perguntas).

Slide 18 -Explicar sobre cientistas e seu papel na história da acústica.

Slide 19 – Vídeo sobre os tubos de Kundt (46s). Explicar o motivo da formação das ondas, lembrando a dinâmica da mola (ressonância).

Slide 20 -Tyndall (1820-1893), físico experimental notável, ficou conhecido por suas pesquisas em radiações, acústica, magnetismo e geofísica. Provou que o som não se propaga no vácuo (Vídeo do som não se propagando no vácuo – 1min2s)

Slide 21 - Explicar sobre cientistas e seu papel na história da acústica.

Texto base para os slides anteriores. Para os filósofos gregos a origem do som estava no movimento de partes dos corpos (HENRIQUE, 2002 p 14) Pitágoras e Thales de Mileto tiveram um papel importante no estudo da música. Foram eles que introduziram os conceitos de Oitava, Quinta e Quarta. Isso através do estudo da vibração de cordas em um monocórdio. Nessa época o diálogo entre a ciência e a música era grande,

pois a música fazia parte do *quadrivium*, as disciplinas básicas no ensino medieval composta por Aritmética, Geometria, Música, Astronomia.

No século XVIII surge a palavra “acústica”, que tem origem na palavra grega *akouein*, que significa ouvir. Sauveur (1653-1716) foi o primeiro a usá-la como a ciência que estuda o som. Sauveur, matemático e físico, é considerado o criador da acústica musical (queria compreender a música através da acústica). Nessa época, houve o maior desenvolvimento da acústica teórica, principalmente com Laplace (1749-1827), que obteve um bom valor para a velocidade do som,

Lagrange (1736-1813), Bernoulli (1700-1782) e Euler (1707-1783), que aplicaram seus conhecimentos matemáticos à acústica especialmente em fenômenos como a altura, o timbre e a transmissão do som nos líquidos.

Chladni (1756-1827) inventou um importante processo de observação dos modos vibratórios em corpos sólidos (conhecidas como figuras de Chladni). Visualizou as linhas nodais espalhando areia fina sobre a superfície a estudar, posta em vibração – praticamente não utilizou a matemática

Brook Taylor (1685-1731), matemático inglês, foi o primeiro a encontrar uma solução dinâmica para a corda vibrante e deduziu a fórmula para calcular a frequência fundamental de uma corda, usando a 2ª lei de Newton aplicada a um elemento de um meio contínuo.

Depois de muitas brigas entre Euler, d’Alambert e Bernoulli e do teorema de Fourier (1822) o problema da vibração das cordas foi resolvido por Fourier, um matemático francês, foi egiptólogo, acompanhou Napoleão ao Egito e escreveu uma obra sobre esse país. Publicou em 1822 a Teoria Analítica do Calor, com as hoje conhecidas séries e integrais de Fourier.

Savart (1791-1841), físico francês, foi professor de acústica no Collège de France em Paris. Foi o 1º a usar a roda dentada para determinar a frequência de um som. Construiu um violino trapezoidal.

August Kundt (1839-1899) desenvolveu um método muito simples para o estudo da propagação do som em tubos, e particularmente para medir a velocidade de propagação do som no ar e noutros gases, a partir da formação de uma onda estacionária no chamado tubo de Kundt.

Helmholtz (1821-1894), físico e médico alemão, estudou o olho e o mecanismo da visão, o ouvido e a percepção do som. Em 1862 publicou “*Estudo das Sensações Sonoras como Base Psicológica para a Teoria da Música*”, que fala sobre som, audição

e instrumentos musicais, analisa teoricamente a vibração das cordas do piano e violino, a teoria dos tubos sonoros, ondas sonoras, etc.

Tyndall (1820-1893), físico experimental notável, ficou conhecido por suas pesquisas em radiações, acústica, magnetismo e geofísica. Provou que o som não se propaga no vácuo.

Rayleigh (1842-1919), físico inglês, escreveu uma obra muito importante na área da acústica: *Theory of Sound*. Em 2 volumes, usou extensivamente a matemática na descrição dos fenômenos acústicos. Estabeleceu a base matemática da teoria das vibrações de cordas, barras, placas, membranas e placas curvas.

Miller (1866-1941) foi professor de física em Cleveland, contribuiu para o estudo das propriedades acústicas dos instrumentos musicais. Escreveu um livro sobre acústica musical (1916) e uma história da acústica referente ao início do século 20 (1935).

Slide 22 e 23 – Depois de fazer descrição dos cientistas com a acústica, apresentar os conceitos de acústica. Primeiro, ondas sonoras. O que são ondas sonoras? Quais são as características das ondas?

A onda sonora é uma onda que se propaga num meio material, ok, mas o que é uma onda? Mostrar através de uma mola e um objeto educacional (montar o objeto com canudos e elástico). É tipo uma vibração que “viaja” pelo meio (ar, água, madeira) e transporta energia.

No ouvido humano, as ondas sonoras são captadas pelo tímpano, uma membrana responsável pelo processo primário de transformação das frequências das ondas em pulsos elétricos, permitindo que características fundamentais sejam percebidas para diferenciação do som (GRILLO et al., 2016, p 22).

As ondas possuem características, são elas:

- Cristas
- Vales
- Amplitude
- Comprimento
- Frequência
- Velocidade de propagação

A onda sonora pode se propagar em qualquer lugar, por exemplo, você ainda escuta debaixo da água (numa piscina), escuta algo mais grave (som mais grave, baixo), mas

escuta. A onda sonora só não se propaga no vácuo. A velocidade do som no ar é de aproximadamente 340 m/s. Mas as condições do meio influenciam essa velocidade, por exemplo, o gás hélio é um gás leve por isso a velocidade de propagação no gás hélio é mais rápido. Vamos ver? (Escolher voluntários para cantar com o gás hélio – entre 5 a 10 minutos de dinâmica)

Se o meio é sólido, isso significa que as moléculas estão mais juntinhas, por isso a onda “viaja” mais rápido, fazer a dinâmica das pessoas mais juntas e a pessoas mais separas (de 5 a 7 minutos)

Slide 24, 25 e 26 – Explicar que o ouvido humano tem a capacidade de ouvir de 20Hz até 20kHz. E isso está relacionado a frequência do som. A sensação auditiva do ouvido humano possui uma faixa de intensidade extensa, do mínimo audível de 10-12 W/ m² (0 dB) até o limiar da dor, cerca de 50 W/m² (120 dB). No dia a dia é possível comparar cada nível audível a um ruído que reconhecemos.

Você escuta Laurel ou Yanny. (Vídeo reportagem do fantástico 5min 18s). Discutir com os participantes sobre o que eles escutaram, e quais frequências eles conseguiram escutar.

Intervalo 10 minutos café

Slide 28– Perguntar o que é música.

Comentar algumas definições de música retirados do portal tudo música.

“Música é a arte dos sons, combinados de acordo com as variações da altura, proporcionados segundo sua duração e ordenados sob as leis da estética” (Maria Luíza Priolli)

“A música é a arte de pensar com os sons, um pensamento sem conceitos”. (Jules Combarieu)”

“Música é a manifestação humana que organiza os sons e ruídos desintelectualizados no tempo”. (Mário de Andrade)

“Arte e ciência de combinar os sons de modo agradável ao ouvido”. Qualquer composição musical; conjunto ou corporação de músicos; orquestra; filarmônica.” (Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, Novo Dicionário da Língua Portuguesa).

“Arte de coordenar fenômenos acústicos para produzir efeitos estéticos”. (Enciclopédia Britânica – Barsa)

“Conjunto de símbolos musicais gráficos, que servem para transmitir ao executante a ideia do compositor”. (EPB)

“Arte que utiliza os sons combinados entre si como linguagem e como elemento de comunicação”. (Enciclopédia Mirador)

Música é a arte e ciência da combinação dos sons (Francisco Fernandes, Dicionário Brasileiro Contemporâneo)

Coordenar fenômenos acústicos significa trabalhar exclusivamente com sons e sua relação com o silêncio, lembrando que sons em qualquer lugar do mundo vai ter apenas quatro parâmetros altura intensidade duração e timbre (Guilherme Romanelli)

Apresentar as qualidades fisiológicas do som.

Slide 29 – Altura. A altura está relacionada com a frequência, nas notas mais agudas e mais graves. (Demonstrar no piano e na mola fazendo movimentos bem rápidos e movimentos devagar).

Slide 30 -A intensidade na música é indicada por aquelas expressões: piano, meio forte, forte e fortíssimo. Fisicamente a intensidade está relacionada a amplitude da onda, pela quantidade de energia propagada por uma unidade de tempo e área. E matematicamente é dada por uma escala logarítmica (vídeo Lacrimosa 3min18s).

Slide 31 - O timbre é uma característica do som, que está diretamente ligada ao corpo sonoro que o produz. Cada corpo sonoro tem peculiaridades que os distingue. O timbre se relaciona diretamente com a composição harmônica da onda sonora, e nos permite identificar a procedência do som. Está ligado ao espectro do som, ou seja, a proporção em que outras frequências superiores, chamadas harmônicos superiores, aparecem misturadas entre si, acompanhando a frequência fundamental. O timbre é a personalidade, ou qualidade, do som: a flauta, uma buzina, um violino e um tímpano soam bem diferentes, mesmo que emitam a mesma nota. O timbre nos permite distinguir sons com mesma altura e intensidade, mas com diferentes componentes de Fourier, isto é, superposição de ondas com frequências múltiplas da fundamental, distribuídas com diferentes amplitudes. A análise de Fourier é o procedimento matemático que permite decompor a onda sonora complexa em suas componentes simples. A presença das vibrações harmônicas faz com que a forma da onda sonora não seja mais senoidal.

Refazer a dinâmica da mola para falar da formação de harmônicos. Ressaltar bem que os harmônicos são importantes para o estudo de cordas e tubos sonoros que não serão abordados nesse workshop.

No canto coral a expressão timbrar está relacionada ao mais uníssono possível que um naipe pode cantar.

(Vídeo diferença entre violino, viola e viola caipira 1min 57s)

Slide 32 - A duração está relacionada com o tempo que o som tem, se é longo ou curto (dinâmica com duração dos sons 5 a 7 min).

Slide 33 - Escala é uma palavra que tem derivação do latim, *scala*, que significa escada. De forma mais simples podemos dizer que a escala é uma sequência de notas musicais comportadas geralmente dentro de uma oitava (GRILO et al, 2016 p 30).

As escalas têm uma grande importância na Música, toda execução de uma composição musical é realizada com base em uma escala. Existem escalas que são características de uma cultura, como por exemplo, as escalas oriundas da cultura europeia e as de origem indiana (GRILO et al, 2016, p. 30).

As notas musicais correspondem a sons com certas frequências, é como se a gente tivesse dando um nome aos números. Dó, Ré, Mi, Fá

O intervalo entre duas notas musicais de frequências f_1 e f_2 é definido pela razão das frequências f_2/f_1 . Quando $f_2 = 2 \cdot f_1$, dizemos que é um intervalo de oitava (demonstrar no piano). Os dois sons são percebidos como a “mesma” nota musical, porém com alturas diferentes. A partir da frequência fundamental conseguimos de certa forma calcular seus intervalos.

A escala de entonação justa ou a escala de Pitágoras, conhecidas como escalas naturais, apresentam algumas dificuldades de ordem prática por conter relações de frequência desiguais, o que dificulta a transposição de uma sentença musical ou a execução de uma peça musical usando instrumentos com diferentes formas de afinação. Para contornar estas dificuldades foi criada a escala cromática ou temperada, construída de tal modo que uma oitava contenha exatamente 12 notas separadas em intervalos iguais (GOTO, 2009)

O cravo bem temperado de Bach (5 min) O título dado por Bach à obra, sugere que a escreveu para um sistema de afinação bem temperado, de doze notas, no qual todas as notas soam em consonância (também conhecido como temperamento circular).

Agradecimento – Aplicação do questionário.

Apêndice4 – Slides (apresentação)



O que é som??

"A palavra som tem dois significados mediante a concepção adotada, como fenômeno físico ou como fenômeno psicofísico." (HENRIQUE, 2002, p. 6.)

O que é som??

- O som pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo, ou seja, uma onda sonora que percorre um caminho em um meio material (como ar, água e parede) até aos ouvidos humanos. (GRILLO et al, 2016, p 21.)
- O significado físico é em relação à fonte sonora e à propagação do som através do meio. (HENRIQUE, 2002, p 6.)

O que é som??

- O significado psicofísico refere-se à audição desse fenômeno, ou seja, à sensação que provoca em nós.

O que é som??

- Once upon a time in África de Hans Zimmer

O que é som??

O que é som??

- Beethoven Symphony No.6 IV

A história da Acústica musical – sob um olhar físico

- Para os filósofos gregos a origem do som estava no movimento de partes dos corpos (HENRIQUE, 2002 p 14)
- Pitágoras (a570-497 A.C)

Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

- O *quadrivium*, as disciplinas básicas no ensino medieval composta por Aritmética, Geometria, Música, Astronomia.



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

No Séc. XVII – fundamentos da filosofia e da ciência moderna

Galileu (1564-1642)



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

Kepler (1571 -1630)



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

Newton (1643- 1727)



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

No Séc. XVIII - A palavra "acústica" (do grego *akouein*, que significa ouvir) se estabelece como a ciência que estuda o som.



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

- Sauveur (1653-1716) – criador da acústica musical



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

- Laplace (1749-1827) – bom valor para a velocidade do som



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

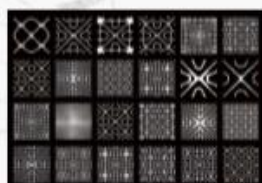
- Lagrange (1736-1813), Bernoulli (1700-1782) Euler (1707-1783);

Aplicação do conhecimento matemático à acústica, especialmente em fenômenos como altura, timbre e transmissão do som nos líquidos



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

- Chladni (1756-1827)



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

- Brook Taylor (1685-1731);
- Fourier (1822)



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

• Savart (1791-1841)

• August Kundt (1839-1899)



Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

• Helmholtz (1821-1894)

• Tyndall (1820-1893)



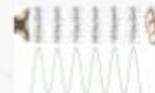
Δ história da Acústica musical – sob um olhar físico

• Rayleigh (1842-1919)

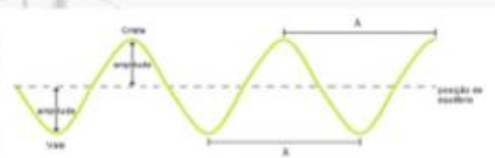
• Miller (1866-1941)



Ondas Sonoras



Ondas Sonoras

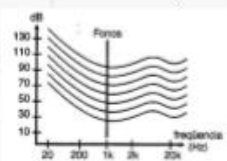


Intensidade

120 dB	Uma discoteca a 50 m de distância	
110 dB	Uma intensa construção civil	Intensamente
100 dB	Um grito a cerca de 2 m de distância	
90 dB	Um grande concerto a 15 m	Muito alto
80 dB	Tráfego de uma cidade movimentada	
70 dB	Interior de um automóvel	Moderadamente
60 dB	Uma conversa normal a 1 m de distância	
50 dB	Escritório, sala de aula	Moderadamente
40 dB	Sala de estar	
30 dB	Chorrito à noite	Quase
20 dB	Estúdio de gravação	
10 dB	Falhar de folhas de árvores	Praticamente
0 dB		

Intensidade e Frequência

- A sensibilidade que temos aos sons não depende apenas de sua intensidade, mas também de sua frequência.
- o ouvido humano é mais sensível aos sons que estão na faixa dos 2 aos 5 kHz.



Frequência



Vamos tomar um café?



Acústica

- Altura
- Intensidade
- Timbre
- Duração (característica musical)



Altura

- Frequência

Intensidade

- Amplitude

Property 1: Amplitude

Fonte: L. A. G. (2011)

Timbre

- Harmônicos

Diapason
Flauta
Violão
Voz (detraído)

Duração

- Tempo

Figura/Notas	4	3	1	1/2	1/4
Figuras Positivas					
Figuras Negativas					
Nome	Quarta	Meia	Terceira	Quarta	Sexta
Denominador de notação	4	8	4	4	8

Escala Musical

Nota	Dó	Dó#	Ré	Ré#	Mi	Fá	Fá#	Sol	Sol#	Lá	Lá#	Si
Frequência	264	277	330	345	396	415	495	514	616	645	792	831
Intervalo	1	1/2	2/3	1/3	4/5	3/4	2/3	1/2	3/2	4/3	5/4	2

Escala cromática

Nota	Dó	Dó#	Ré	Ré#	Mi	Fá	Fá#	Sol	Sol#	Lá	Lá#	Si
Frequência	1,000	1,059	1,122	1,189	1,260	1,335	1,414	1,498	1,587	1,682	1,783	1,890
Intervalo	1,000	+59	+70	+71	+72	+73	+74	+76	+77	+79	+80	+81

Referências

GRILLO, Maria Lucia; PEREZ, Luiz Roberto (org.). *Física e música*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

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

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*, v. 2, São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

Obrigada pela presença

Física e Música – um arranjo bem temperado

Trabalho de Conclusão de Curso
Orientadora: Prof.ª Dr.ª Nilson Marcos Elias Garcia.
Coorientadora: Prof.ª Msc. Criscilla Gattini Crueter.

Élida Laureano Cedrezues – elida@alunos.utfpr.edu.br
 Aluna de curso de Licenciatura em Física - UTFPR