MNPEF-MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL

EM ENSINO DE FÍSICA - UTFPR-CM

ENCARTE DO PRODUTO EDUCACIONAL:

A FÍSICA DA MÚSICA E A PLURALIDADE DIDÁTICA

https://www.youtube.com/playlist?list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2

Washington Roberto Lerias

Orientador: César Henrique Lenzi

A Física da Música e a Pluralidade Didática

https://www.youtube.com/watch?v=nirjzuBDi_g&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2&index=2

Este produto educacional foi desenvolvido com o intuito de propor um exemplo de sequência didática em ensino de física, que envolvesse a utilização do máximo possível de recursos didáticos e metodológicos, que fosse atrativa, envolvente e mais significativa ao aluno, e que também outros professores pudessem reproduzir integral ou parcialmente, ou até mesmo adaptá-la de acordo com seus interesses, cabedal e recursos.

A sequência foi estruturada basicamente em quatro aulas de cinquenta minutos, sendo as duas primeiras expositivas e teóricas, a terceira experimental e a última é de aplicação prática. Neste encarte contém as aulas transcritas na íntegra, para facilitar a reprodução por parte dos professores, que foram divididas em videoaulas com cerca de 20min de duração, para poderem ser utilizados nas aulas, caso o professor não tenha os recursos necessários para reproduzir em sala, ou queira facilitar o seu próprio estudo sobre a sequência didática.

O tema, foi escolhido, como introdução ao grande conjunto de conteúdos da Óptica, para que fossem explorados ao máximo os conteúdos de ondulatória e acústica, relacionando-os com conteúdos e conhecimentos prévios (como comprimento, velocidade, tensão, densidade, frequência, período e suas unidades) e vindouros (como a óptica e aspectos da física moderna ou estrutura da matéria), interdisciplinarmente com a teoria musical, para buscar aproveitar a curiosidade ou interesse que as pessoas naturalmente têm pela música, através da compreensão dos fenômenos físicos e matemáticos nela envolvidos.

Os fundamentos metodológicos absorvidos durante o curso de mestrado, apontaram para um enlace entre a pluralidade metodológica de Feyerabend e a aprendizagem significativa de Ausubel, bem como um possível sincretismo didático metodológico, como uma forma de buscar aproveitar o que de cada método pode ser utilizado, sem ter que desprezar um método em função de outros.

Aula 1- Videoaula 1 - Parte1 (Conhecendo a Onda)

https://www.youtube.com/watch?v=JSGdYMHbSG4&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2&index=3

Na primeira aula o conjunto de recursos didáticos servem para explorar conteúdos de ondulatória e acústica, como comprimento de onda, período, amplitude e frequência de oscilação da onda, equação da onda, velocidade de propagação e suas unidades, propriedades do som, limites da audição e da fala, timbres e ressonância.

Os alunos encontram a sala com todos os recursos didáticos montados e organizados conforme a figura .

O conjunto de recursos conta com desde quadro giz a cordas, barbantes, diapasões, copos de cristal, violino, violão, xilofone, flautas doce e transversal, garrafas pet, conjunto de tubos sonoros (tubos de Bach), experimento de ondas estacionárias em cordas, meia lua, microfone, projetor multimídia, notebook com simuladores instalados, a citar: Oscilloscope 2.51 (Winscope) e Audacity 2.0.3, caixa de som para computadores, régua ou trena e conjunto de massas aferidas, conforme os materiais utilizados descritos na figura 3.

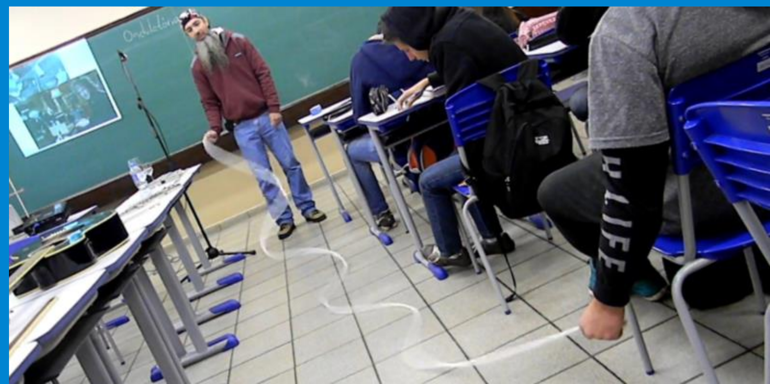
Figura : Disposições dos recursos didáticos nos lugares de aplicação.

Ao entrarem, se deparam também com um vídeo na projeção de uma música, no caso da banda Metallica (Nothing Else Matter), tocada em um violão e gravado com recursos de um celular, de maneira a “mostrar” os movimentos e os formatos das ondas nas suas cordas.

Após se acomodarem neste ambiente, espera-se que os elementos surpresa apresentados gerem curiosidade e alguma opinião, ou construção mental, sobre do que se trataria esta aula diferenciada. A ideia é de aproveitar essa impressão inicial para puxar os conteúdos da sequência didática de tal maneira que um passo gerasse os próximos, integrando o máximo de informações, conteúdos e recursos por passo.

Em função disto indaga-se sobre essa impressão e qual a relação entre todos os experimentos, invenções, instrumentos musicais, os recursos dispostos e, tendo a corda em mãos, esta corda. Assim que surgir a palavra onda, aproveita-se o gancho para explorar alguns princípios e conceitos da ondulatória, formalmente, na lousa pelas vantagens que este recurso didático oferece, como o de deduzir equações e ilustrar exemplos não previstos advindos de questões inesperadas dos alunos, além de poderem copiar durante o processo, enquanto pulsos diferentes são realizados na corda pelo professor e pelos alunos e utilizados para compreender as relações de proporções entre as grandezas conceituadas.

Esta é a hora de conceituar e explorar os elementos da onda como, pulso, oscilação, crista, comprimento de onda, amplitude, período, frequência, suas unidades e relações. As regras de proporção podem tranquilamente serem utilizadas para tal e se os alunos não estão acostumados a utilizá-las, eis uma boa oportunidade. Período (T) e frequência (f ou n) podem ser colocados na lista de conteúdos ou conhecimentos prévios, já que são tópicos tratados no movimento circular uniforme e movimentos harmônicos, que são conteúdos do 1º ano do ensino médio, porém aconselha-se a deduzi-los novamente, agora com mais propriedade.



Por exemplo, com os pulsos formados na corda (Figura 4), comparados com outros exemplos como um jogador de basquete que quica a sua bola de uma posição próxima e afastada do chão, a diferença do som de um instrumento grande de corda (violão) em relação a um pequeno (violino), ou a diferença de pulsação cardíaca entre um adulto e uma criança em estado normal de funcionamento, ainda relembrando os períodos de rotação e translação dos planetas em relação à sua frequência, chega-se na conclusão que são grandezas inversamente proporcionais. Logo, pode-se escrever esta relação como:

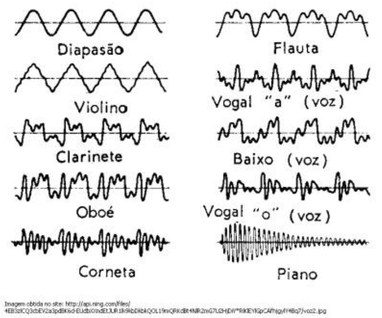
$$f \propto \frac{1}{T}$$

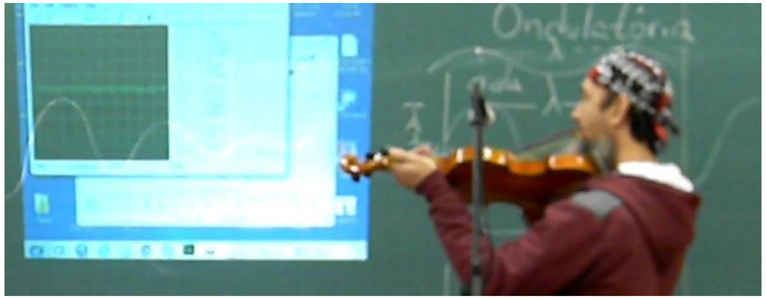
Uma técnica para fazer a proporção entre as grandezas envolvidas se tornar uma equação, é de tirar o sinal de proporção e colocar uma igualdade e uma constante. Muitas constantes universais já advieram deste tipo de relação linear entre grandezas da natureza, porém, para este caso, se trata de uma constante adimensional, pois voltas, vezes, giros, batimentos e oscilações não são grandezas físicas e sim apenas um número que representa uma quantidade de repetições. Quando uma grandeza não tem dimensão, o número 1 a representa e por conseguinte a expressão com sua unidade no sistema internacional pode ser descrita como:

$$f = \frac{1}{T} \xrightarrow{SI} \frac{1}{s} = \mathrm{Hz(hertz)}$$

Portanto a unidade Hz, dada em homenagem ao cientista Henrich Hertz(1857-1894), representa a quantidade de repetições por segundo que determinado evento periódico produz. Esta unidade perpassará durante todo o processo em todas as aulas conseguintes. Por isso a importância de defini-la o quanto antes.

Também pode ser aproveitado o momento para, da mesma forma, deduzir a equação da velocidade de propagação de uma onda, utilizando-se dos pulsos na corda e o microfone para poder visualizar, no simulador de osciloscópio, as ondas dos instrumentos, vocalizações e vibrações de alguns objetos e, paralelamente a isto trabalhar a noção de timbres, observando e analisando os padrões de ondas que os definem, bem como outras propriedades do som, como intensidade ou volume, representada pela amplitude, ainda as alturas representadas pelos baixos como sons graves e altos para os agudos.





Observa-se então com os alunos que quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda e que portanto representam grandezas inversamente proporcionais. Da mesma forma pode-se então afirmar então que:

$$\mathbf{f} \propto \frac{\mathbf{1}}{\lambda}$$

(onde λ = lambida = lâmbida = comprimento de onda)

(Como os gregos foram um dos maiores precursores de métodos e pesquisas científicos, muitas grandezas são representadas por letras de seu alfabeto. Tal é a sua importância e recorrência, que se sugere que a cada vez que alguma apareça, que seja representada a sua forma na íntegra tal qual acima, com a transliteração para o português, para que seja feita relação com os seus fonemas e vá assimilando outros símbolos, bem como associar a influência greco-romana nas ciências, na escrita, na linguagem científica e no pensamento ocidental.)

Da mesma forma: tirando o sinal de proporção, colocando uma igualdade e uma constante chegamos na seguinte equação:

$$\mathbf{f} = \frac{\mathbf{v}}{\lambda}$$

Cada vez que aparece uma constante, pode-se analisar o seu significado, isolando-a na equação e fazendo uma análise dimensional de sua unidade correspondente. Assim sendo:

$$\mathbf{v} = \lambda\mathbf{f} \overset{\mathbf{SI}}{\rightarrow} \mathbf{m}\left(\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{s}}\right) = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}}$$

Ou seja, a constante tem dimensão de velocidade e realmente ela representa a velocidade de propagação de uma onda. Ou melhor, que a velocidade de propagação da onda, em um meio homogêneo ou com as mesmas características, não varia. Assim para a mesma tensão na corda, tanto faz produzir nela comprimentos de onda grandes ou pequenos, a velocidade com que a crista se dirige para frente é a mesma, ou seja o pulso chegará na extremidade oposta da corda no mesmo tempo, com as mesmas condições, mesmo com frequências diferentes. Analogamente, se produzir um som grave e outro agudo, no mesmo ambiente homogêneo, ambos chegarão até o ouvinte com a mesma velocidade.

Outra maneira clássica de chegar nesta expressão é através do conceito de velocidade média, ou constante, que é facilmente lembrada:

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{x}}{\Delta \mathbf{t}} = \frac{\lambda}{\mathbf{T}} = \lambda \mathbf{f}$$

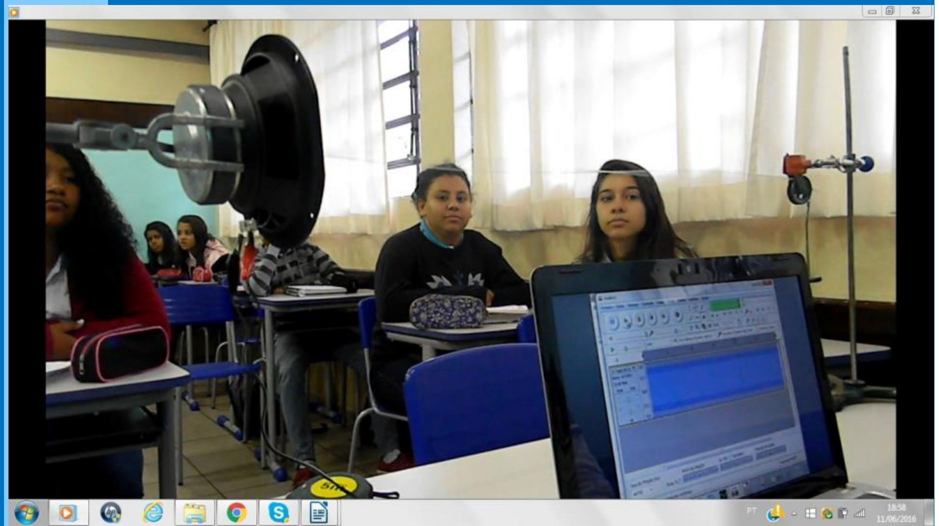
Se o meio for o ar, de tal maneira que a sua velocidade seja de aproximadamente 340m/s, por exemplo, uma onda de 1Hz, ou seja algo vibrando com a frequência de 1 vez por segundo, geraria uma onda de aproximadamente 340 m de comprimento. Não existe nenhum animal na Terra com o aparelho auditivo tão grande que pudesse captar e interpretar como som uma onda deste tamanho, ou tão grave. O mais grave que algum animal (elefante) consegue ouvir é a frequência de 4Hz. Isto equivale a uma onda de 85m.

Aula1 – Vídeoaula 1 – Parte 2 (Explorando os Limites do Som)

https://www.youtube.com/watch?v=ZwXkoYxBOvk&index=4&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2

Esta é uma deixa para se apresentar os limites da audição e da fala humana.

O experimento de ondas estacionárias, construído de tal maneira a gerar o primeiro harmônico com 20Hz, gerado pelo Audacity, é utilizado para ilustrar esses limites e alto-falantes de tamanhos diferentes, do notebook, caixa de som e um bem maior usado no experimento, demonstram os seus limites físicos para a reprodução dos sinais enviados pelo simulador. Chega-se à conclusão que alto-falantes grandes são melhores para reproduzir sons baixos, ou graves, na verdade os pequenos nem conseguem reproduzi-los, e alto-falantes pequenos são melhores para reproduzir os sons agudos que da mesma forma se verifica nas frequências limites.



Faz-se também a relação e demonstração com as cordas do violão e do violino com o mesmo diâmetro, onde se consegue fazer agudos no violão, tal qual no violino, diminuindo o tamanho da corda, porém no violino não se consegue alcançar o grave da corda solta do violão, pois o limite físico que lhe é imposto não o permite. (Não dá aumentar o tamanho do braço do violino e nem afrouxar demais a sua corda.)

Após estas verificações é apresentado, formalmente na lousa os limites da audição humana (Infrassom - 20Hz à 20kHz – Ultrassom) e uma tabela dos limites das vozes humanas e suas divisões. (Figura 4)

Vozes Humanas	Frequência (Hz)
Baixo	87-349
Barítono	98-392
Tenor	131-494
Contralto	175-698
Mezzo soprano	220-880
Soprano	247-1145

Chega-se ao limite da primeira aula quando, ao se discutir durante as experimentações sonoras sobre como o som chega aos nossos ouvidos, como o som do diapasão é amplificado em contato com alguns materiais chamados ressonantes, introduzindo aí o conceito de ressonância e suas aplicações, desde a ressonância magnética aos radiotelescópios, afinação dos instrumentos musicais, e é bem aí que se termina a aula 1 e se inicia a aula 2, com a indagação no ar do porquê alguns sons nos parecem tão mais harmoniosos que outros, como a música o é em relação a maioria dos sons produzidos.

Aula 2 – Vídeoaula 2 – Parte 1(Aspectos Epistemológicos da Física na Música)

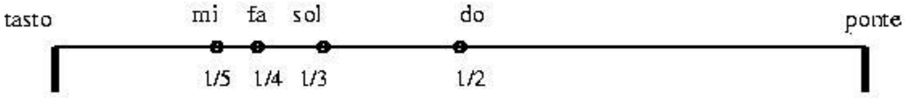
https://www.youtube.com/watch?v=ZwXkoYxBOvk&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2&index=4

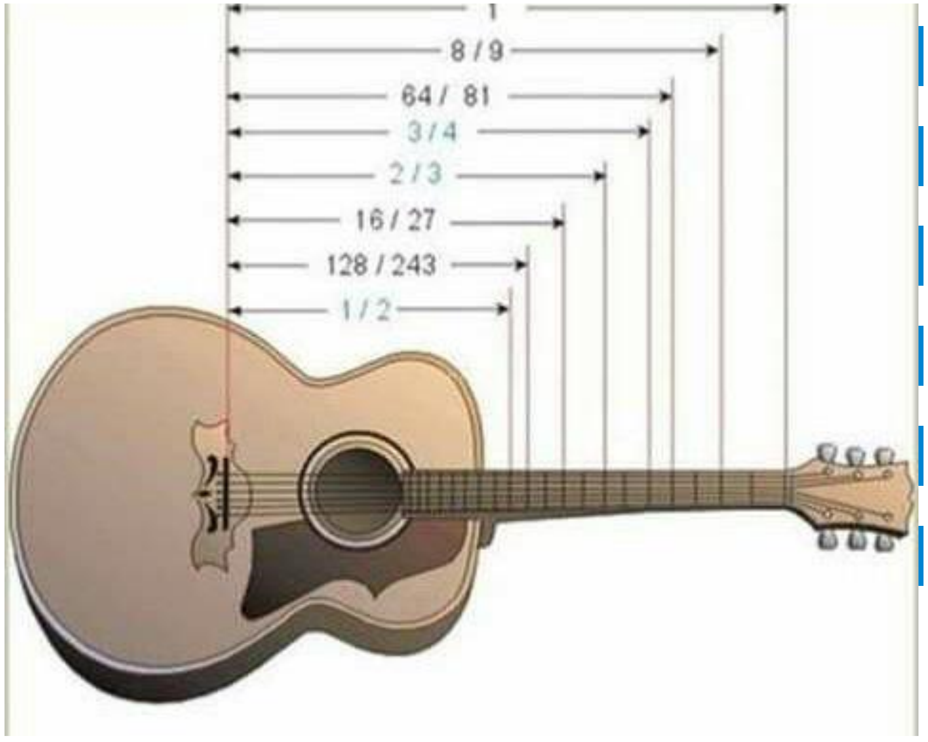
Na segunda aula explora-se melhor o conteúdo de ondas estacionárias e interferências, tanto em cordas tensionadas quanto em tubos sonoros, enquanto aspectos epistemológicos são considerados, como o estudo das proporções entre frações bem definidas de cordas tensionadas feitas pelos pitagóricos e suas vibrações, originara o estudo das harmonias, aproveitando com isso para apresentar a lógica e elementos da linguagem musical, como as notas musicais, os intervalos entre as notas, as escalas e a evolução dos seus conceitos até a atualidade, que são retomados na aula 4.

Aproveitando a deixa da aula 1, sobre o porquê de alguns sons nos parecerem mais harmônicos que a maioria dos sons, ou na busca de compreender a música cientificamente, recorre-se ao Pitágoras (c.580–c.500a.C.) quem fundou a Escola Pitagórica, na Magna Grécia, dedicada a estudos filosóficos, científicos e religiosos, após ter feito peregrinações pelo Egito, Babilônia e Índia, onde absorveu não só informações matemáticas e astronômicas como também muitos princípios religiosos.

Vale citar que os membros da Escola Pitagórica recebiam uma educação formal, na qual constavam quatro disciplinas: Aritmética, Astronomia, Geometria, e Música, todas elas relacionadas entre si. No estudo de sons musicais em cordas esticadas com a mesma tensão, descobriram as regras que relacionavam a altura da nota emitida com o comprimento da corda, concluindo que as relações que produziam sons harmoniosos seguiam a proporção dos números inteiros simples do tipo 1:2, 2:3, 3:4, etc.,(Figura 5) formando a escala pitagórica, originando a noção e nomenclatura das notas musicais e concluindo também, que as relações numéricas da natureza se dão de forma musicalmente harmônica, originando também a ideia da harmonia ou música das esferas, gerada pelas relações encontradas nos movimentos dos corpos celestes. Ideia retomada mais tarde por Johannes Kepler (1571-1630).

Os pitagóricos perceberam que quando se divide uma corda pela metade, o novo som produzido, apesar de ser mais agudo, tem uma semelhança muito grande com o da corda inteira e chamaram este novo som de nota dó. Portanto se continuasse dividindo pela metade, continuaria se chamando dó, porém cada vez mais agudo. O mesmo ocorre com sons harmoniosos gerados a partir de 1/3 da corda que chamaram de sol, 1/4 de fá e 1/5 de mi, com intervalos preenchidos por frações do tipo 2/3, 3/4, assim por diante, o que respectivamente aumenta a frequência em 3/2, 4/3, conforme visto na aula 1.





É bem neste momento que se mostra no experimento de ondas estacionárias em cordas, preparado de tal maneira a gerar o primeiro harmônico, ou fundamental, com um sinal de 20 Hz, a sua relação com a música e a visualização das frações que são geradas através destas ondas estacionárias, tal qual ocorre nos instrumentos musicais. Só que aqui, em vez de variar o comprimento, primeiramente se varia a frequência, que dobrada gera a mesma “nota”, ou próximo harmônico com 40Hz, e assim sucessivamente.

Aproveita-se as observações no experimento e um gif de física com diversas combinações de harmônicos em corda, em câmera lenta, para além de melhor visualizá-los, que seja explorado o conteúdo sobre as condições necessárias para a formação de ondas estacionárias, tanto em cordas quanto nos tubos sonoros. Novamente o conteúdo é explorado em lousa, fazendo os alunos participarem e acompanharem o raciocínio para o seu desenvolvimento.

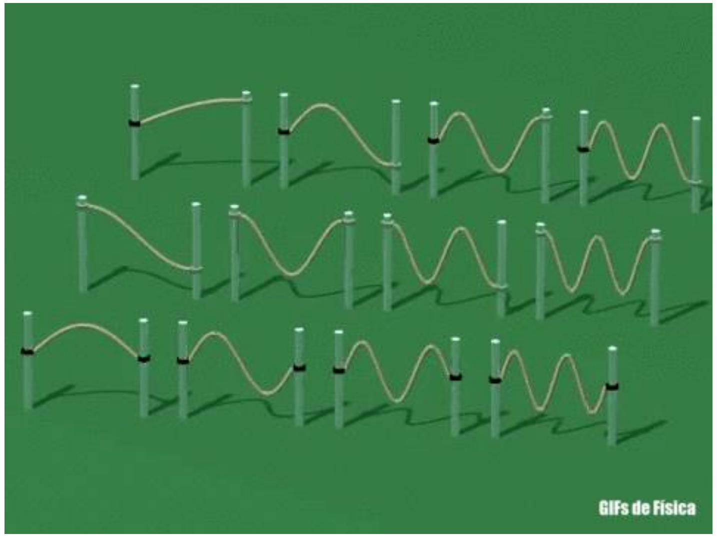


Figura : Gif de Física - Ondas estacionárias em cordas

Antes de se partir para o cálculo se faz necessário buscar compreender o fenômeno da onda estacionária, bem como a nomenclatura dos seus componentes, para que esta análise seja feita numa linguagem científica, porém que faça sentido ao aluno.

Quando o primeiro harmônico se forma no experimento, dá para dizer em um único momento, que o movimento de sobe e desce da corda, gera uma "barriga" no centro da figura, que, por motivos óbvios foi chamado de ventre. Forma-se aí meia onda, ou melhor, uma onda com a metade do seu comprimento e equivalente ao comprimento (L) da corda fixa nas duas extremidades. Utilizando a visualização dos movimentos do gif, concomitantemente, observa-se a equivalência com o caso de uma corda fixa em apenas uma das extremidades, e um tubo sonoro aberto também de comprimento (L) esboçado na lousa e exemplificado com as flautas. E então, para todos estes casos, o primeiro harmônico ocorre quando L=λ2.

Já no segundo harmônico, para os mesmos casos se formam dois ventres e uma região sem oscilação no meio do caminho, chamado de nó. Dá para ver nitidamente no gif que se forma aí uma onda completa, que é vantajoso escrever em função de duas metades de comprimento de onda, ou ainda, L=2λ/2. Para o terceiro tem-se 3 harmônicos e dois nós, ou L=3λ2. Assim, sucessivamente, pode-se chegar a seguinte generalização, para os casos considerados:

$$\mathbf{L = n\frac{\lambda}{2}}$$

(Sendo n=1, 2, 3...o número de ventres ou harmônicos.)

Já para o caso dos tubos sonoros fechados, representados, pelas garrafas pet e o conjunto de tubos sonoros de Bach que fazem parte dos recursos, com o mesmo processo acima, chega-se a conclusão que equivale ao exemplo das ondas estacionárias em cordas com as extremidades soltas. Verifica-se para estes casos que o primeiro harmônico ocorre quando se forma 1/4 do comprimento de onda, ou L=λ/4.

O segundo ocorre para L=3λl4, o terceiro para L=5λ/4 e assim por diante até que se pode generalizar em função do número de harmônicos (n), gerando sempre um número ímpar multiplicado por um quarto da onda, da seguinte forma:

$$\mathbf{L} = (\mathbf{2n} - \mathbf{1})\frac{\lambda}{\mathbf{4}}$$

Para completar a explicação do fenômeno da onda estacionária se torna necessário conhecer um pouco sobre o fenômeno da interferência.

A interferência ocorre quando dois pulsos se encontram. Dependendo das fases das ondas no momento do encontro, elas podem somar ou reduzir suas amplitudes numa única onda e seguem com o sentido de propagação e as suas características originais. O que é demonstrado na corda com a ajuda dos alunos fazendo pulsos a partir das extremidades se encontrarem. Se as ondas no momento do encontro estão na fase, elas se somam na interferência e se estiverem em fases opostas, elas se diminuem. Se os pulsos tiverem o mesmo comprimento de onda e amplitude, que é o que ocorre, por reflexão e ressonância, nas ondas estacionárias do experimento, a interferência é máxima nos ventres e mínima nos nós. Na verdade, para este caso teremos o dobro da amplitude dos pulsos nos ventres, pois a onda refletida é igual a emitida pelo alto-falante.

Isto acontece também quando estamos afinando algum instrumento, pois a hora que produzir aos nossos sentidos a amplitude máxima, é porque o instrumento está afinado. Quando se pode aumentar ou diminuir o tamanho do instrumento para se afinar, que é o caso da flauta, parece ser mais fácil de entender a afinação, porém quando se trata de instrumentos de corda, com comprimento fixo, é preciso variar a tensão na corda. Estudar-se-á melhor a física deste tipo de afinação e a relação desta tensão com os harmônicos na aula 3, utilizando o experimento de ondas estacionárias em cordas.

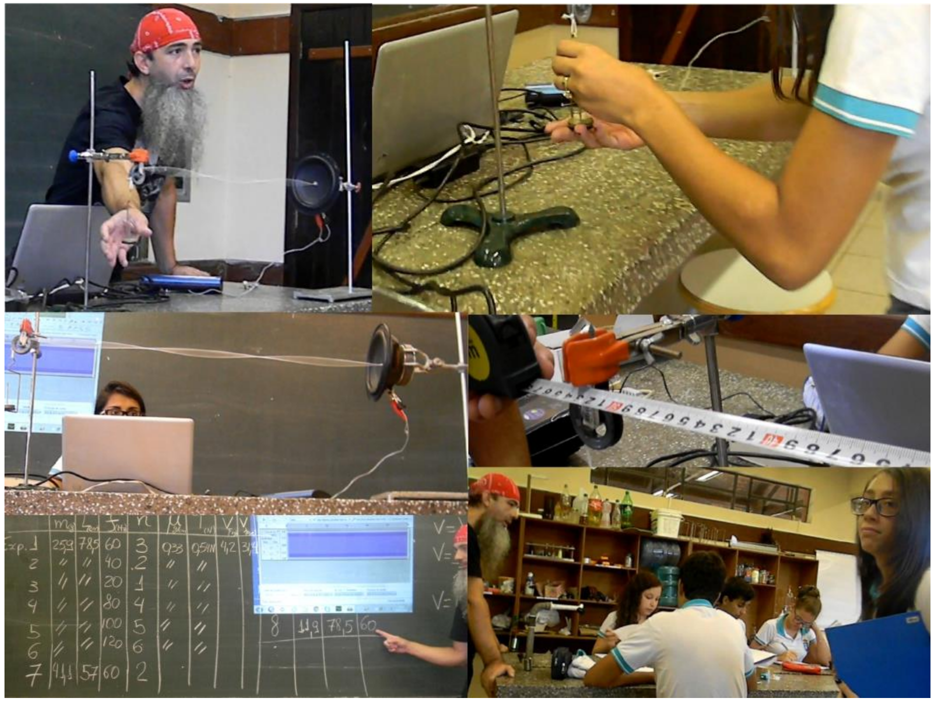
Aula 3 – Videoaula3 – Experimento de Ondas Estacionárias

https://www.youtube.com/watch?v=yl6mt4K3J54&index=5&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2

Na terceira aula os alunos “colocam a mão na massa”, ou seja, eles testam e atestam na prática as relações entre os harmônicos, as tensões e as frequências, utilizando-se do experimento de ondas estacionárias em corda tensionada, acoplado a dois simuladores, um de osciloscópio e outro de gerador de tons.

Este experimento, cuja montagem se encontra em vídeo em anexo, (https://www.youtube.com/watch?v=bgKqI44XZqg&index=1&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2) consiste praticamente de um alto-falante fixado em um pedestal universal, com um barbante colado no seu centro, e na outra extremidade do barbante, um conjunto de massas aferidas suspensas por outro pedestal com uma roldana fixada.

A ideia agora é que se somem esforços, para se explorar o experimento. Para tal, com auxílio de outro conjunto com mais dois alto-falantes, produzidos pelos alunos de iniciação científica, divide-se a turma em três grupos: O grupo da tensão, o da frequência e o do comprimento. Cada grupo varia, no seu experimento, apenas a sua grandeza e deixa as outras constantes, até encontrarem os três primeiros harmônicos, cujos dados são registrados em uma tabela conjunta, para serem analisados e relacionados. Estes dados são utilizados também para o cálculo das velocidades de propagação do som nas cordas para várias tensões, que esboçados em gráfico, geram uma parábola.



Chega-se a conclusão que quanto maior a velocidade de propagação, muito maior é a tensão na corda, ou que a tensão é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade, e portanto:

$$\mathbf{T} \propto \mathbf{v}^2$$

Da mesma forma que foram desenvolvidas as outras equações, tirando o sinal de proporção, colocando uma igualdade e uma constante, tem-se:

$$\mathbf{T} = \mu \mathbf{v}^2$$

Ainda, isolando-se a constante e fazendo a sua análise dimensional, dar-se-á significado físico a ela.

$$\mu = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{v}^2} \xrightarrow{\mathrm{SI}} \frac{\mathrm{N}}{\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2} = \frac{\mathrm{Kg.m.s}^2}{\mathrm{m}^2.\mathrm{s}^2} = \frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m}}$$

Esta constante então representa e tem unidade da densidade linear da corda.

Logo chega-se a uma outra expressão para o cálculo da velocidade de propagação da onda, agora em relação à tensão na corda:

$$\mathbf{v} = \sqrt{\frac{\mathbf{T}}{\mu}}$$

Agora se mistura praticamente tudo o que foi visto, primeiramente substituindo o comprimento vezes a frequência no lugar da velocidade.

$$\lambda \mathbf{f} = \sqrt{\frac{\mathbf{T}}{\mu}}$$

E substituindo a expressão vista que relaciona o comprimento de onda aos harmônicos formados pelas ondas estacionárias na corda e isolando-se a tensão, chega-se a seguinte relação, após algebrismos, os quais é melhor deixar os alunos resolverem:

$$\frac{\mathbf{2L}}{\mathbf{n}}\mathbf{f} = \sqrt{\frac{\mathbf{T}}{\mu}} \rightarrow \mathbf{T} = \mu \left(\frac{\mathbf{2Lf}}{\mathbf{n}}\right)^2$$

Neste momento mostra-se que esta expressão fora utilizada para preparar o experimento de tal maneira que desse o primeiro harmônico com 20 Hz, além do que, demonstra-se com o violão e o violino, também podem ser manuseados pelos alunos, que para aumentar a frequência deve-se aumentar a tensão ou apertar a sua tarraxa e para conseguir uma frequência mais grave é necessário afrouxá-la.

Este é um dos princípios da afinação e construção dos instrumentos de corda.

Aula 4 – Videoaula4 – Parte 1

(Teoria Musical e Sua Linguagem)

https://www.youtube.com/watch?v=DCOHyjbP7i4&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2&index=6

Nesta aula, um pouco mais recreativa, além de serem aprofundadas fisicamente a construção da linguagem e teoria musical, são utilizadas técnicas de coral e conjunto musical, para dentro das limitações e talentos individuais, fazer com que todos de alguma forma possam participar de uma apresentação musical coletiva, cantando e/ou tocando algum instrumento.

Retornando agora aos intervalos fracionários entre as notas, visualizados e compreendidos com as ações já desenvolvidas, busca-se aprofundar o seu conhecimento, aplicá-lo à compreensão e afinação dos instrumentos musicais, paralelamente à noções elementares da teoria musical e sua linguagem.

De todas as combinações possíveis de conjuntos de frações aproximadamente equivalentes, realizadas desde a época pitagórica, de forma tal que ao repeti-la na sequência dos conjuntos das notas musicais (dó-ré-mi-fa-sol-la-si), ela valha o dobro da frequência, destaca-se a escala diatônica ou justa. Nela os intervalos entre as notas foram subdivididos em: intervalos maiores ou tons, proporcionais a 9/8, ou seja, considerando 8/9 da corda (que é o caso do intervalo de dó para ré, de fá para sol e de lá para si, onde para uma corda afinada em dó, 8/9 da corda gerará a nota ré); tons menores, que aumentam a frequência da nota anterior em 10/9, ou diminuem em 9/10 o seu tamanho (ex: de ré para mi e de lá para si); e os semitons com intervalos de 16/15 (que ocorrem de mi para fá e si para dó). Após seguidas estas proporções, ao retornar a nota dó mais aguda com o dobro da frequência da primeira, tem-se um conjunto de 8 notas, chamado obviamente de oitava e ainda escala de dó maior. Partindo de outras notas e seguindo a mesma sequência, 9/8,10/9,16/15,9/8,10/9, 9/8,16/15, ter-se-á a sua escala maior equivalente. Utilizando T para tons e ST para semitons, esta sequência pode ser descrita como T-T-ST-T-T-T-ST, que é a sua forma mais conhecida na teoria musical. Isto tudo pode ser representado na lousa na pauta em escrita musical.

Linhas e espaços entre linhas são utilizados para distribuir as notas. As figuras ou claves no início da pauta servem como ponto de referência. Sugere-se desenhar na hora a clave de sol e mostrar que ela começa a ser feita a partir da segunda linha da pauta, que é contada de baixo para cima e que, por este motivo, quando uma “bolinha” que representa a nota se encontra nesta posição, tem-se a nota sol. E não é um sol qualquer executado em qualquer região do instrumento, ou da voz, e sim o sol da oitava que se encontra o lá natural, fixado em 440Hz, tal qual nos diapasões, representado na pauta no espaço anterior a linha do sol. Em um violão afinado a corda 3, neste caso se conta da corda mais fina até a mais espessa, produz esse sol. (Neste momento é bom mostrar no simulador de osciloscópio as ondas do diapasão novamente, ouvir, tentar reproduzir com a voz e comparar com os 440Hz emitidos pelo simulador de timbres.)

Seguindo na mesma lógica, na primeira linha se tem a nota mi, no espaço abaixo dela a ré e numa linha complementar feita abaixo deste espaço, a dó central (dó que todas os tipos de vozes humanas conseguem emitir) com a frequência de 264Hz, seguindo as frações da escala diatônica. Conforme uma tabela com as frequências das notas calculadas com estas proporções que foi publicada em um dos apêndices do livro O Romance da Física com o título de clave de luz, por causa de uma brincadeira feita com a séria harmônica dobrando os valores das frequências das notas até a ordem de 1014 Hz, na faixa da luz visível e que coincidiram com as 7 cores.

Apêndice III) A Clave de Luz (Ω)
De Washington R. Lerias (hz)

SOL-LÁ-SI -DÓ-RÉ-MI-FÁ

Infra-som - - -	- - -	- - -	- - -	- - -	20,6	22
24,8	27,5	30,9	33	37,1	41,3	44
49,5	55	61,9	66	74,3	82,5	88
99	110	123,8	132	148,5	165	176
198	220	247,5	cen264tral	297	330	352
396	natu440ral	495	528	594	660	704
792	880	990	1056	1188	1320	1408
1584	1760	1980	2112	2376	2640	2816
3168	3520	3960	4224	4752	5280	5632
6336	7030	7920	8448	9504	10560	11264
12672	14080	15840	16896	19008	- - - - - -	-Ultra Som
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	Infravermelho	
Ω$4{,}4\times10^{14}$	$4{,}8\times10^{14}$	$5{,}4\times10^{14}$	$5{,}8\times10^{14}$	$6{,}5\times10^{14}$	$7{,}3\times10^{14}$	$7{,}7\times10^{14}$
VERMELHA	LARANJA	AMARELA	VERDE	AZUL	ANIL	VIOLETA
- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	ultravioleta	
SOL	LÁ	SI	DÓ	RÉ	MI	FÁ

236

Uma possível explicação é que apesar de existir uma infinidade de tons de cores no espectro visível da luz branca, tal qual no fenômeno do arco-íris, as cores que vão mais se evidenciar, ou que mais chamarão a atenção da nossa visão, serão as cores mais harmônicas, da mesma forma que de todos os sons que existem, as notas musicais chamam mais a nossa atenção por ativarem a região do cérebro responsável por reconhecer as harmonias e suas variações de tons.

Aproveita-se o momento para executar no Audacity as frequências na escala de dó, de 264 à 528 Hz e solfejá-los, repetindo os nomes das notas enquanto as reproduzem com a voz, ou as entoam.

Parte 2 (A Evolução da Música e a Prática Musical)

Como as 12 teclas que existem em cada oitava do piano, no nosso caso do xilofone, que é mostrado para o aluno durante a aula, existe a escala cromática dividida em 12 semitons (escala diatônica somada a pentatêutica, formada pelos sustenidos ou bemóis dependendo se estamos subindo ou descendo na escala). Sabendo disto, o músico Johann Sebastian Bach (1685-1750), se utilizou de outro método matemático para dividir estes semitons em intervalos exatamente iguais, de tal forma que, seguindo esta proporção fechasse o ciclo da oitava com o dobro da nota. O método de Bach, também conhecido como a escala logarítmica ou exponencial, nada mais é do que dividir estes intervalos em 12 potências de base 2 da seguinte forma:

$$(\mathbf{nota}).2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}}.2^{\frac{1}{12}} = 2^{\frac{12}{12}}.(\mathbf{nota})$$

(Que é o dobro da nota musical inicial.)

A quantidade $2^{1/12}$ = 1,05946309 se torna a constante de proporção de um semitom para outro. Representados por cada tecla do piano, cada peça do xilofone ou cada casa ou trasto do violão, por exemplo. Assim a nota dó vezes $2^{1/12}$ gera meio tom a cima, ou dó sustenido (dó# = C# = ré bemol = réb = Db, que é meio tom abaixo do ré). Este, vezes $2^{1/12}$ gera o ré e assim por diante, lembrando que depois do mi e do si, já temos um semitom até a próxima nota e, portanto, não existem mi e si sustenidos.

Os tubos sonoros apresentados na aula, foram construídos utilizando a proporção de Bach e é utilizado neste momento para se perceber a diferença sutil entre os sons das notas nos diferentes tipos de escalas.

Uma outra contribuição de Bach para a música foi na combinação de notas, ou acordes, utilizados em suas composições de duas em duas notas. Por exemplo o acorde de dó maior (C) era formado por Dó e Mi, a primeira e a terceira nota da sua escala, o acorde de dó sustenido(C#), por Dó sustenido e Fá, elevando ambas meio tom. O acorde de bemol, ao contrário disto as diminui em um semitom, e como meio tom abaixo do dó é o si (Cb = B) formado pelas notas Si e Mi bemol que é igual ao Ré sustenido, e por aí vai. Tinha também o caso do acorde menor, no qual a é diminuída a terceira nota da escala maior em meio tom (ex: Cm = Dó menor, formado por Dó e Mi bemol).

Uma brincadeira é feita com a turma, fazendo cada metade da sala cantar uma das notas do acorde conjuntamente, repetindo e memorizando os sons ou tons produzidos pelo simulador. Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) introduziu em suas composições uma terceira nota nos acordes, onde, por exemplo, no acorde maior se acrescentou a 5ª nota da escala, assim o acorde de Dó maior passou a ser formado por Dó, Mi e Sol. (faz-se a mesma brincadeira redividindo em 3 grupos). Ainda se faz necessário citar um outro gênio da música, Ludwig Van Beethoven (1770-1827), quem introduziu mais notas nos acordes, criando a dissonância na música.

São citados também dois casos curiosos da física na música e viceversa. Um de um físico famoso que estudou música e outro de um músico famoso que estudou física.

O primeiro, Albert Einstein (1879-1955), violinista, que se apresentou em sinagogas e que chegou a locar um café-bar para fazer apresentações em um trio de cordas formado com o pai da física quântica, Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) e seu filho Erwin Planck, bem como passou algumas tardes tocando Mozart com a então rainha belga Elisabeth, a quem também tentou ensinar relatividade.

O outro caso é do guitarrista compositor da famosa banda Queen, Brian Harold May quem depois dos 50 resolveu fazer Astrofísica. Em dezembro de 2005, Brian foi homenageado com um CBE Commander, Medalha da Ordem do Império Britânico, por Sua Majestade a Rainha, em reconhecimento dos seus serviços para a música e obras de caridade. Após isso, concluiu seu doutorado em astrofísica no Imperial College em 2007 e foi chanceler da Liverpool John Moores University entre os anos de 2008 e 2013.

O próximo e último passo é fazer os alunos lerem e solfejarem uma música, inteira ou parcialmente, de acordo com o tempo restante e se possível trocar os nomes das notas pelas sílabas da letra da música, deixando-os a vontade para recreativamente cantar, tocar algum dos instrumentos, assoviar, bater palmas, estalar os dedos, ou batucar, aproveitando os seus talentos ou tendências individuais.

/
/www.youtube.com/watch?v=RG_k6LX0QzY&index=7&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2

A aula então termina com a recitação de uma poesia do livro O Romance da Física (E Surge A Óptica) que além de servir como um resumo do assunto, com a linguagem utilizada nas aulas, tem o intuito de fazer pensar e filosofar sobre a importância do conteúdo estudado, além de criar expectativas para o próximo conteúdo a ser desenvolvido. A óptica.

E Surge a Óptica

No princípio era o verbo que falava
(ou Uma Grande Onda que vibrava)
Algo se ouvia mas nada se via
Falou Luz e a noite se fez dia

Cantou harmonicamente tudo que existe
Do infrassom (abaixo do que ouvimos) “som silencioso”
Passando por todas as notas que já ouviste
Ultrassom, ondas de rádio, infravermelho, “silencio caloroso”

Na harmonia a frequência se associa a Energia
Assim sendo todas as cores refletidas nas flores
São notas musicais, em ressonância com equivalentes valores
O que continua ocorrendo, o que me causa alegria

Na ultravioleta, raio-X, raio cósmico e mentes abertas
Os quais não passaram a existir desde as suas descobertas
Mas sim desde o início de toda Eterna criação
Muito antes de nos ampliarmos a audição, visão e ilusão
De ÓPTICA

REFERÊNCIAS

Correia, S. R. S, Ouvinte consciente: arte musical, 1º grau, comunicação e expressão, 7ª ed., São Paulo: Ed. do Brasil, 1975.

[Enstein 1984] A. Einstein, O Pensamento Vivo De Einstein, Coleção: Pensamento Vivo, Editora: Martin Claret, 1984.

[Feyerabend 1993] P. Feyerabend, Against Method, third edition, London-New York: Verso, p.154, 1993.

[Fletcher 1998] N. Fletcher e T. Rossing,The Physics of the Musical Instruments, Springer, 2ª edição, 1998.

[GIF de Física] Youtube: Gif de Física, Autorizado pelo autor, Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=V_KOpEOb1KE>.Acesso em Junho de 2016

[Lerias 2003] W.R.Lerias, O Romance da Física, Curitiba: Public Publish, p. , 2003.

[Moyses 1933] H.Moysés Nussenzveig,Curso de Física Básica 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor, São Paulo: Edgar Blücher, 1981.

[Gaspar 2003] A. Gaspar, Física - Volume Único, Editora Àtica, 2003

Teixeira, W. M, Caderno de Musicalização: canto e flauta doce, Curitiba: Governo do Paraná, 2008.