

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES

LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA



O uso da teoria musical para o ensino da física

HENRIQUE FERREIRA SILVA

GOIÂNIA

2022

HENRIQUE FERREIRA SILVA

O uso da teoria musical para o ensino da física

Trabalho de conclusão e curso apresentado a Escola Formação de Professores e Humanidades, a Pontifícia Universidade Católica de Goiás, com Parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Me. Renato Medeiros

Coorientador: Me. Edson Vaz de Andrade

GOIÂNIA

2022

HENRIQUE FERREIRA SILVA

O uso da teoria musical para o ensino da física

Este trabalho de conclusão de curso julgado adequado para obtenção do título de licenciado em Física, e aprovado em sua forma final pela Escola de formação de professores e Humanidades, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em ___/___/____.

Banca Examinadora:

Orientador (a): Prof. Me. Renato Medeiros

Coorientador(a): Prof. Me. Edson Vaz de Andrade

Prof. Dr. Anderson Costa da Silva

GOÂNIA

2022

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo descrever sobre o início da história da música apresentando seus respectivos autores responsáveis pela descoberta e mostrando a sua cronologia de desenvolvimento ao se passar séculos até a atualidade. Dentre isso, aprofundaremos na parte teórica da música falando como é criada uma nota na partitura, a tonalidade de uma música, ritmo, compasso, nome das notas e acordes incluindo todos os intervalos que podemos usar. Além disso, vamos definir bem cada tópico dos modos gregos que tem uma extrema importância para a música. A física na música, sendo a parte importantíssima nesse presente trabalho, vai tratar o desenvolvimento das ondas estacionárias, ondas sonoras em cada ponto de sua trajetória para explicarmos aquele som que está sendo emitido, e como um determinado som tem uma reação diferente alterando o “timbre” em cada instrumento. Outro aspecto importante é a fisiologia do som que sai e entra do nosso corpo, sendo muito sensíveis a essas frequências.

Palavra chave: música, som, intervalos, modos gregos, timbre.

ABSTRACT

This research aims to describe the beginning of the history of music, presenting its respective authors responsible for the discovery and showing its development chronology over centuries to the present day. Among this, we will delve into the theoretical part of music talking about how a note is assembled in the score, the tonality of a song, rhythm, measure, name of the notes and chords including all the intervals that we can use. In addition, we will define well each topic of Greek modes that is extremely important for music. Physics in music, being the most important part in this present work, will deal with the development of standing waves, sound waves at each point of their trajectory to explain that sound that is being emitted, and how a certain sound has a different reaction, altering the " timbre" on each instrument. Another important aspect is the physiology of the sound that leaves and enters our body, being very sensitive to these frequencies.

Keywords: music, sound, intervals, Greek modes, timbre.

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: flauta de osso feita de fêmur de urso----- | 15 |
| Figura 2: escritura Neuma----- | 16 |
| Figura 3: hino de São João----- | 17 |
| Figura 4: lá acima do dó central----- | 19 |
| Figura 5: linha pentagrama----- | 21 |
| Figura 6: espaço pentagrama----- | 21 |
| Figura 7: espaço e linhas suplementares superiores e inferiores ----- | 22 |
| Figura 8: linha compasso----- | 22 |
| Figura 9: linha compasso duplo----- | 22 |
| Figura 10: linha compasso tracejada----- | 23 |
| Figura 11 colchete partitura----- | 23 |
| Figura 12 sistema de partitura----- | 24 |
| Figura 13 notas musicais----- | 24 |
| Figura 14 figura musical----- | 25 |
| Figura 15 o tempo de duração de cada nota musical----- | 25 |
| Figura 16 o tempo de duração das notas musicais----- | 26 |
| Figura 17 clave sol-3----- | 26 |
| Figura 18 clave fá-2----- | 27 |
| Figura 19 clave dó-3----- | 28 |
| Figura 20 clave de percussão (bateria)----- | 28 |
| Figura 21 escala ascendente e descendente----- | 29 |

| | |
|---|----|
| Figura 22 formação da escala maior natural----- | 31 |
| Figura 23 formação da escala menor----- | 31 |
| Figura 24 monocórdio de Pitágoras----- | 32 |
| Figura 25 onda transversal e longitudinal----- | 37 |
| Figura 26 representação de uma onda----- | 37 |
| Figura 27 nota Lá com quatro oitavas----- | 38 |
| Figura 28 amplitude da onda----- | 39 |
| Figura 29 comprimento de onda----- | 39 |
| Figura 30 período da onda----- | 40 |
| Figura 31 velocidade da onda na corda esticada----- | 41 |
| Figura 32 onda incidente refletida----- | 43 |
| Figura 33 onda sofrendo refração----- | 43 |
| Figura 34 obstáculo com fenda----- | 44 |
| Figura 35 harmônicos iniciais----- | 45 |
| Figura 36 tubo aberto----- | 46 |
| Figura 37 tubo fechado----- | 47 |
| Figura 38 pregas vocais abertas----- | 48 |
| Figura 39 pregas vocais fechadas----- | 48 |
| Figura 40 diferença das pregas vocais----- | 49 |
| Figura 41 ouvido humano internamente----- | 50 |
| Figura 42 alguns tipos de frequência----- | 51 |
| Figura 43 altura da onda----- | 52 |
| Figura 44 intensidade da onda----- | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 45 níveis de intensidade sonora----- | 53 |
| Figura 46 valores de intensidades saudável no ouvido humano----- | 53 |
| Figura 47 variedade de timbre----- | 54 |
| Figura 48 som de eco----- | 54 |
| Figura 49 som de reverberação----- | 55 |
| Figura 50 música e ruído----- | 55 |

Lista de tabela

| | |
|--------------------------------|----|
| Tabela 1 modelo jônio----- | 34 |
| Tabela 2 modelo dórico----- | 34 |
| Tabela 3 modelo frígio----- | 35 |
| Tabela 4 modelo lídio----- | 35 |
| Tabela 5 modelo mixolídio----- | 35 |
| Tabela 6 modelo eólio----- | 35 |
| Tabela 7 modelo lócrio----- | 36 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| Lista de figuras ----- | 06 |
| Lista de tabela ----- | 09 |
| 1 Introdução ----- | 12 |
| 2 fundamentos teóricos da música ----- | 15 |
| 2.1 princípios da história da música----- | 15 |
| 2.2 compreensões básicas das Teorias musicais----- | 20 |
| 2.2.1 Elementos teóricos----- | 20 |
| 2.2.2 símbolo----- | 21 |
| 2.2.2.1 linhas----- | 21 |
| 2.2.2.2 notas e pausas e seus valores----- | 24 |
| 2.2.2.3 claves----- | 26 |
| 2.2.3 Intervalos Musicais----- | 38 |
| 2.2.4 campo harmônico----- | 30 |
| 3 Fundamento teórico da música com Pitágoras ----- | 31 |
| 3.1 princípios dos modos gregos----- | 33 |
| 4 Fundamentos teóricos da Física na música ----- | 36 |
| 4.1 velocidades das ondas e sua propagação----- | 42 |
| 4.2 ondas estacionárias----- | 45 |
| 5 A anatomia da voz e ouvido ----- | 47 |
| 5.1 princípios básicos da fisiologia da voz----- | 47 |
| 5.2 princípios básicos da fisiologia do ouvido humano----- | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 6 Princípios básicos da acústica ----- | 51 |
| 6.1 Quais as diferenças da música e ruídos----- | 55 |
| 7 Considerações finais ----- | 56 |
| 8 Referências----- | 57 |

1 – INTRODUÇÃO

Quando relacionamos música com oscilações (ondas), que por nome, definição, são coisas muito semelhantes, ou seja, oscilação seria o funcionamento da propagação da onda no meio [1], e a música seria a união de vários sons que deve fazer parte da educação do povo [2].

A física na música foi escolhida como tema pelo fato da música estar presente em nosso dia a dia o que a torna um objeto de estudo muito conhecido para os alunos facilitando o ensino da física. Mas a parte principal é aproveitar o limite dos assuntos mencionados (física e música), sendo, toda parte ondulatória, acústica e fisiológica no corpo humano e entre outros (óptica, otorrinolaringologista, fonoaudiológico especialista em voz cantada e falada).

A ordem do desenvolvimento está em uma estrutura de três tópicos: fundamentação teórica, desenvolvimento da física na música, aplicando na construção de um estúdio de música com todos os equipamentos possíveis para que, a menos escape de som possível do ambiente, assim, obtendo um resultado espetacular a ambos. Este trabalho terá uma aplicação será feita através da Pontifícia Universidade Católica De Goiás na disciplina de Projetos como: Intervenção, microaula.

A música apresenta assuntos bem específicos como: intervalos, formação de acordes (tríades, tétrades, etc.), teoria musical, musicalização, notas, escalas, modos gregos, ritmos, técnicas de mãos ao tocar um instrumento, sons.

No século XIX, o matemático Jean Batiste Fourier ficou conhecido por aprimorar o estudo das ondas em sons musicais através dos períodos (T), usando as equações matemáticas de funções harmônicas que ele mesmo desenvolveu, provou que independente da origem das ondas, elas vão se repetir simetricamente.

“(...) Em meados do século XVII, o matemático francês J. Fourier provou matematicamente que qualquer forma de onda, independente da sua origem, é um somatório de ondas senoidais de diferentes frequências, amplitudes e fases. Ele mostrou que se a forma de onda se repete periodicamente, então as frequências das componentes senoidais são restritas a valores múltiplos da frequência de repetição da forma de onda [3] (...)”

Enfim, através desses argumentos teóricos, iremos enfatizar como funciona o som de cada instrumento, como a onda se comporta detalhando bem e porque cada som tem um comportamento diferente e principalmente a formação de eco em alguns ambientes e o porquê do som musical é diferente do som produzido pela natureza. Enfatizar o funcionamento dos sons nos tubos (órgãos e clarinete), e porque o funcionamento é analisado diferentemente dos instrumentos de cordas. Sendo assim, o matemático Oscar João Abdounur em seu livro “Matemática e a Música: o pensamento analógico na construção de significados” vai detalhar bastante a trajetória da música no início de tudo no mundo.

O físico Fourier desenvolveu uma forma de representar as formas de funções infinitas através da trigonometria, usando períodos em situações complexas no processo da física, onde, a onda é representada como funções seno e cosseno sendo simétricas.

“(...) Série de Fourier é uma forma de série trigonométricas usada para representar funções infinitas e periódicas complexas dos processos físicos, na forma de funções trigonométricas simples de senos e cossenos. Isto é, simplificando a visualização e manipulação de funções complexas. Foi criada em 1807 por Jean Baptiste Joseph Fourier. [4] (...)”

A fórmula geral da série é:

$$T(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cdot \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$

Onde o coeficiente a_0 , a_n e b_n são números que vão mudar conforme a equação geral, sendo:

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) dt,$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) dt$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi t}{L}\right) dt$$

Através dessa descoberta, foi selecionado o problema na física, desenvolvendo noções bem profundas em teoria musicais e principalmente para o entendimento em determinados assuntos (valores matemáticos para cada nota musical, etc.).

Sempre quando ouvimos aqueles acordes agradáveis aos nossos ouvidos, tirando como base o teclado, é quando a divisão das frequências entre duas notas são números inteiros e pequenos, diatônicos [4], sendo assim, saindo aquele som harmônico, mas sempre se referindo ao harmônico fundamental das ondas estacionárias.

I) Nova frequência Ré-Sol

$$\frac{9}{8} / \frac{3}{2} = \frac{3}{4}$$

Quando ouvimos aqueles acordes desagradáveis, sempre tirando como base o teclado, é quando a divisão de frequência possui números grandes nas extremidades, dissonantes [4].

II) Nova frequência Fá-Si

$$\frac{4}{3} / \frac{15}{8} = \frac{32}{45}$$

Este trabalho de conclusão do curso vai destacar uma parte da física que está unida a criação do som, especificamente os musicais.

2 - Fundamentos Teóricos da música

2.1- princípios das histórias da música

Nos relatos existentes da música, não há indícios **do dia correto** que foi descoberto a música. Há fatos encontrados em figuras desenhadas em cavernas, que foi feito pelo “homem da caverna” (pré-histórico), onde, eles estavam fazendo rituais com o som através da música.

Outros rumores do início da música nessa mesma época, suposto pedaço de flauta feita do fêmur de urso encontrado em 1995 na Eslovênia (flauta Divje Babe), **possui a** cerca de 43 mil anos **esse artefato**, onde, seus buracos possui um intervalo de tempo igual a de um intervalo musical [6]. Esta flauta pode ser observada na figura 1.

Figura 1: flauta feita de osso do fêmur do urso



fonte: [WWW.voc.link/o-instrumento -musical-mais-antigo-ja-encontrado](http://WWW.voc.link/o-instrumento-musical-mais-antigo-ja-encontrado)

As civilizações antigas, que foram essenciais no desenvolvimento do mundo, inclusive, na musicalidade que eles nos oferecem, trouxe a peculiaridade de cada civilização da antiguidade, o som que cada população faz em suas escolas. Na Mesopotâmia, que se localiza entre o rio Tigre e o rio Eufrates foi criada por volta de 7.000, a.c, eles já utilizavam instrumentos como harpa, sopro, onde também foram encontradas escalas musicais escritas em cuneiforme [5].

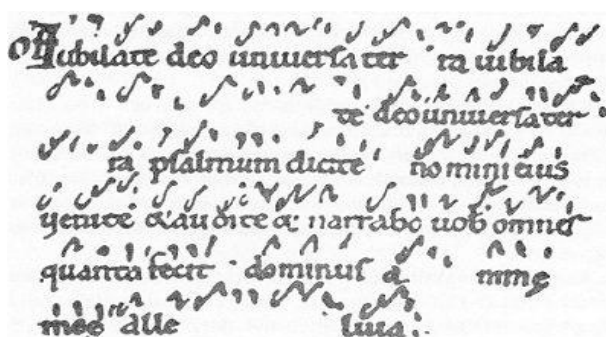
Nas civilizações egípcias, a música está ligada ao um único objetivo que era adoração aos deuses através do canto utilizando alguns instrumentos como: harpa e

tambores, sendo algo comum entre eles. Já civilização da Grécia, que se localiza no Rio Egeu e foi criada em 2.000, a.c e tem sua escrita em Grego Micênico e linear B (sinais gravados em tabuínas e vasos). A partir do lado musical da Grécia, gerou uma contribuição para a música, criação de tetracorde segundo [6], e também outros autores, sendo, Pitágoras, Aristoxeno que contribuíram no desenvolvimento da música (desenvolvimento das escalas musicais).

O Império Romano, influenciado pelos gregos, mudou totalmente o jeito de ver a música, pelo motivo da educação grega em relação a música, ser bem impactante sob o povo Roma antiga. Os romanos depois de ter mudado seu modo de ver a música, passou a dar mais atenção aos músicos virtuosos e pelos espetáculos musicais, começando a ouvir grupos populares da época sendo “grupos corais imponentes e grandes orquestras, semelhantes àquelas das performances de pantomima, frequentemente com o reforço dos instrumentos da música militar” [7] – segundo Sêneca (Epístula, 84, 10).

As músicas no início, usavam a notação musical “Neumas” (sistema de notação musical que era usado antes da linha, como: ponto, acento crase ou circunflexo), que foi século VII e XIV, nas letras das músicas, elas se constavam em cima de cada letra da música, sendo elas, alguns símbolos gramaticais: (acento agudo) nota musical ascendente, (acento grave) nota musical descendente ou também a junção dos dois sinais (acento circunflexo) e também pode ser através de pontos. A escrita Neuma pode ser observada na figura 2.

Figura 2: Escritura Neuma



Fonte: WWW.knoow.net/arteseletras/musica/neuma-notacao-neumatica/

De acordo com [8], temos:

“(...) sinais parecidos com uma espécie de pontos ou acentos gramaticais, os quais derivaram dos utilizados pelos gregos na sua acentuação (...) colocadas sobre as palavras para que o cantor, com alguns conhecimentos musicais, se lembrasse das melodias [8], página 50 (...)”

No século XI, a notação musical (Neuma) sofreu uma grande alteração em termos de simbologias para definir o andamento da música, essa notação mudou para de “linha” (conhecido como partitura)com isso, o padre Guido d’Arezzo (um monge italiano), fez essa troca de notação musical no hino de São João Batista ,que foi escrito por Paulo Diácono 720 e 799, como pode ser visto na figura 3.

O padre d’Arezzo, pegou a primeira sílaba **da palavra** de cada frase, sendo, que **a** última frase pegou a letra iniciais de duas palavras. Essas iniciais são identificadas como: Ut, Re, Mi, Fá, Sol, La, Si. Em seguida, ao passar algum tempo, a sílaba “Ut” foi trocada por “Dó” pelo músico italiano Maestro Geovane Batista Doni (1593 - 1647) [12], por simplesmente facilitar a leitura.

Figura 3: hino de São João



Fonte: WWW.academiabrasileiradeharpas.com.br/a-historia-das-notas-musicais

Com essa atualização da nota musical de Neuma por Linha, a música “saltou” para um nível musical bem acima do que ele se encontrava. A música renascentista (1400-1600) apresenta um sistema tonal, onde as músicas apresentam uma tonalidade

definida, iniciando também o processo de harmonia entre a tonalidade escolhida se baseando na hierarquia definidas de som. De acordo com [10].

“(...) as transformações se refletiram no instrumental, sendo modificado para sua sonoridade acompanhar uma nova sensibilidade. Muitos instrumentos novos apareceram. Ao longo desse período ocorre a dissolução do sistema modal e o surgimento do sistema tonal, lançando-se os princípios da harmonia moderna, baseada em uma hierarquia definida de sons [10], p.117 (...)”

A música barroca (1600-1730), foi marcada pela ópera de Claudio Monteverdi no século XVII. Esta obra foi marcada **pelo** um grande período, onde, sua principal característica é o “baixo contínuo” (usando o baixo na tonalidade Si) mas mantendo o período renascentista (harmonia tonal) e sempre usando dissonantes em escalas diatônicas. Nesse período os músicos e os instrumentos estavam em igualdade, atingindo o nível mais alto da música jamais visto, criando o concerto (unificando vários instrumentos). De acordo com [11].

“(...) música ocidental correlacionada com a época cultural homônima na Europa, que vai desde o surgimento da ópera por Claudio Monteverdi no século XVII, até a morte de Johann Sebastian Bach, em 1750. Trata-se de uma das épocas musicais de maior extensão, fecunda, revolucionária e importante da música ocidental, e provavelmente também a mais influente. As características mais importantes são o uso do baixo contínuo, do desejo e da harmonia tonal, em oposição aos modos gregorianos até então vigente.

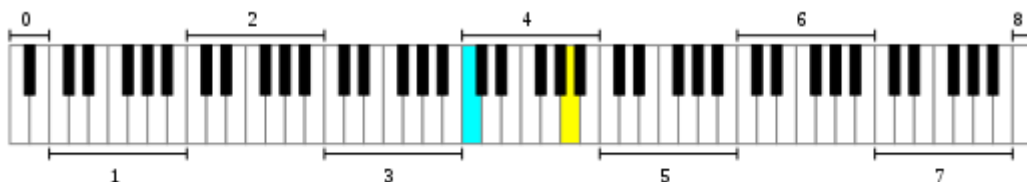
Do Período Barroco na música surgiu o desenvolvimento tonal, como os tons dissonantes por dentro das escalas diatônicas como fundação para as modulações dentro de uma mesma peça musical. Pela primeira vez na história, música e instrumento estão em perfeita igualdade. Nesse período a instrumentação atinge sua primeira maturidade e grande florescimento. Pela primeira vez surgem gêneros musicais puramente instrumentais, como a suíte e o concerto. Nesta época surge também o virtuosismo, que explorar instrumento musical... Johann Sebastian Bach e Dietrich Buxtehude foram os maiores virtuosos do órgão. Jean-Philippe Rameau, Domenico Scarlatti e François Couperin eram virtuosos do cravo. Antonio Vivaldi e Arcangelo Corelli eram virtuosos no violino. [11] (...)”

Esses períodos foram até a Música moderna no século XX, onde, deu uma nova linguagem para a parte de harmonia vocal e um aprimoramento nos instrumentos e ritmos, isso vem acontecendo até a atualidade. Em 1940, o alemão Joseph Goebbels fez uma mudança de padrão de frequência das notas musicais, sendo de 432 Hz (período de Pitágoras) para 440 Hz (localiza na quarta oitava do piano, depois do dó central). Esta mudança pode ser vista na figura 4.

De acordo com o [12] temos:

“(...) A = 432 Hz, conhecido como 'A' de Verdi, é uma afinação música baseada em 432 Hz transmite energia de cura benéfica, porque é um tom puro de matemática fundamental para a natureza. Existe uma teoria de que a mudança de 432 Hz para 440 Hz foi ditada pelo ministro da propaganda nazista, Joseph Goebbels. Ele a usou para fazer as pessoas pensarem e sentirem de uma certa maneira, e para torná-las prisioneiras de uma certa consciência. Então, por volta de 1940, os Estados Unidos introduziram 440 Hz em todo o mundo e, finalmente, em 1953, tornou-se o padrão ISO 16 [12] (...)”.

Figura 4: Lá acima do dó central



Fonte: WWW.pt.wikipedia.org/wiki/Nota%C3%A7%C3%A3o_cient%C3%ADfica_de_altura

Nos dias atuais, a música tem sido influenciada pelas novas tecnologias, os instrumentos com aspectos eletrônicos com várias inovações nos sons, ritmos, compreendendo as escalas com mais facilidades. Essas melhorias são graças a matemática na música [24].

2.2 – Compreensão básica das teorias musicais

A teoria na música veio para facilitar a compreensão musical, mesmo nunca ter ouvido ou tocado, e através desse conhecimento que nos foi dado pelas civilizações passadas, nos garante o sucesso em quaisquer grandes escolas de músicas do mundo. A música está presente em muitas atividades, como: manifestações de culturais. Em um pensamento mais teórico, [13], conclui que música é a arte que traz paz a alma e para [14], conclui que a música é a arte de organização dos sons.

2.2.1- Elementos teóricos

Antes de falarmos dos símbolos presentes na música, precisamos entender uma propriedade fundamental na música. Ela se divide em três partes importantíssimas:

I) melodia – conjunto de sons que combinados que é agradável de ouvir [15].

II) Harmonia – conjuntos de notas que se sincronizam mesmo sendo de frequências diferentes. De acordo com o [16].

“(...) teoria da harmonia tem por objeto o estudo e a aplicação das leis que regem o encadeamento logicamente racional e tecnicamente correto dos acordes (ressonâncias simultâneas de vários sons de alturas diferentes)”. Assim, a harmonia se articula com a organização interna do sistema tonal, que estrutura uma série específica de acordes que formam o denominado campo harmônico, e os hierarquiza num conjunto de relações e funções. Temos por um lado, então, a noção estrutural dos acordes que se baseiam na sobreposição das notas da tonalidade utilizando o intervalo de terça como gerador e, por outro lado, a noção funcional de que cada acorde desempenha uma função específica dentro do sistema tonal [16] (...)”

III) Ritmo – são movimentos simétricos e bem alinhados na música. De acordo com a [17].

“(...) um movimento coordenado, uma repetição de intervalos musicais regulares ou irregulares, fortes ou fracos, longos ou breves, presentes na composição musical. O termo ritmo tem origem na palavra grega rhytmos, que significa qualquer movimento regular, constante, simétrico [17](...)”.

2.2.2 – Símbolos

As demonstrações escritas das notas, onde, é utilizada normalmente por maestro para conduzir a orquestra e a ele mesmo [18].

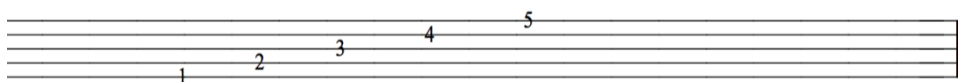
2.2.2.1 – Linhas

I) Pentagrama - partitura se faz bastante presente na música porque é uma linguagem escrita onde é conhecida no mundo inteiro que foi desenvolvida igualmente para todos, onde, se é relacionada a notas musicais definidas, sons definidos. Essa escrita apresenta 5 linhas e 4 espaços. De acordo com o [12].

“(...) partitura é uma representação escrita ou um sistema de escrita de músicas padronizada mundialmente, formada por 5 linhas e 4 espaços e, símbolos próprios (notas musicais) que são associados a sons (frequências sonoras pré-definidas) [19] (...)”

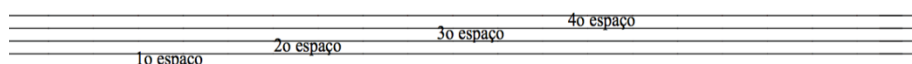
As linhas e os espaços de uma partitura podem ser vistos na figura 5, 6 e 7.

Figura 5: linhas de pentagrama



Fonte: <https://blog.santoangelo.com.br/transposicao-de-partitura-e-a-importancia-para-os-musicos/>

Figura 6: espaços de pentagrama

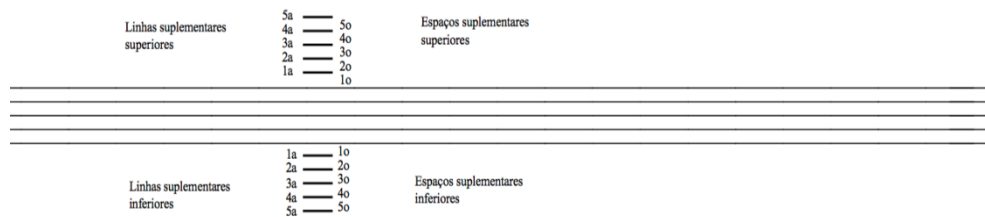


Fonte: <https://blog.santoangelo.com.br/transposicao-de-partitura-e-a-importancia-para-os-musicos/>

II) Suplementares- são linhas que existe acima ou abaixo das padrões. Quando estão acima da pauta é chamada de suplementar superior e quando estão abaixo da pauta é chamada inferior. De acordo com [21].

“(…) são linhas que existem acima ou abaixo da pauta porque nem sempre as 5 linhas e 4 espaços são suficientes para receberem todas as notas musicais. Quando acima do nível normal da pauta, são chamadas de **Linhas Suplementares Superiores (LSS)**; Quando abaixo do nível normal da pauta, são chamadas de **Linhas Suplementares Inferiores (LSI)** [21] (…)”.

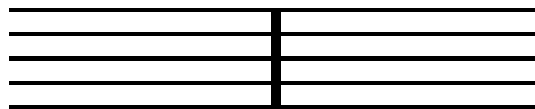
Figura 7: linhas e espaços suplementar inferior e superior



Fonte: <https://blog.santoangelo.com.br/transposicao-de-partitura-e-a-importancia-para-os-musicos/>

III) Compasso – é a forma de dividir a música quantitativamente (quantidade), [20], a linha de compasso pode ser visualizada na figura 8.

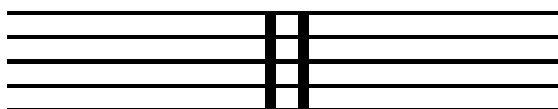
Figura 8: linha de compasso



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADmbolos_da_not%C3%A7%C3%A3o_musical_moderna#cite_ref-1

IV) Compasso duplo – onde separa uma parte da música mudando a estrutura, sendo, o tom, ritmo, etc.[20]. A linha de compasso duplo pode ser visto na figura 9.

Figura 9: linha de compasso duplo



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADmbolos_da_not%C3%A7%C3%A3o_musical_moderna#cite_ref-1

V) Compasso tracejada – utilizadas só para estudos para facilitar a contagem dos tempos no interior do compasso. De acordo com [21] e pode ser vista na figura 10.

“(...) subdivide os compassos e é usado para facilitar a contagem do tempos, dividir o interior dos compassos em diversas partes para estudo e aprendizagem, etc. Basicamente só é utilizada em exercícios, pois não apresenta nenhum efeito considerável na execução da música [21] (...)”

Figura 10: linha de compasso tracejada



Fonte : <http://harmonizandoideias.blogspot.com/2012/03/7-barras-de-compasso.html>

VI) Colchete - quando conectamos mais de duas linhas de música que vai se realizar ao mesmo tempo, [20]. E pode ser vista na figura 11.

Figura 11: colchete partitura



Fonte://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADmbolos_da_not%C3%A7%C3%A3o_musical_moderna#cite_ref-1

VII) Sistema – é quando uma chave conecta duas ou mais linhas de música que vão ser tocadas ao mesmo tempo no mesmo instrumento. De acordo com o [20] e pode ser vista na figura 12.

“(...) uma chave é usada para conectar duas ou mais linhas de música que são tocadas simultaneamente, geralmente

quando se usa uma pauta dupla. O sistema conecta várias partes para um **único instrumento**, por exemplo, as pautas direita e esquerda de um piano ou harpa). O Sistema é usado para piano, harpa e alguns instrumentos de percussão de altura definida [20] (...)"

Figura 12: sistema de partitura



Fonte://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADmbolos_da_not%C3%A7%C3%A3o_musical_moderna#cite_ref-1

2.2.2.2 – Notas e pausas e seus valores

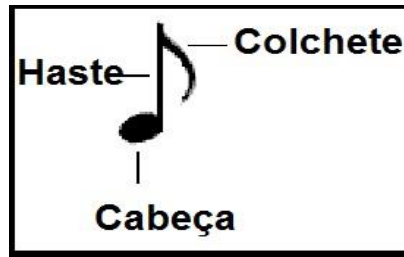
Esses elementos (notas e pausas) são essenciais para que a música ocorra no andamento correto e para que nenhum músico mude as sequências de forma aleatória, sendo as notas musicais: dó, ré, mi, fá, sol, lá e si, onde, elas possuem valores e que são representadas por um símbolo bastante conhecido, **que** seu desenho e representado por: cabeça, haste e colchete ou bandeirola. As notas musicais podem ser vistas na figura 13. A figura musical está mostrada na figura 14.

Figura 13: notas musicais



Fonte://www.descomplicandoamusica.com/como-ler-partitura/

Figura 14: figura musical



Fonte://essaseoutras.com.br/valores-das-notas-musicais-teoria-musical-para-iniciantes/

Cada nota musical **eu vou ter** uma maneira diferente de executá-la, contendo valores numéricos, sendo cada sequência específica de cada uma. Com isso, esses valores musicais das notas recebem os seguintes nomes: semibreve, mínima, semínima, colcheia, semicolcheia, fusa e semifusa. Conforme foi dito anteriormente, segue a estrutura mostrada na figura 15.

Figura 15: tempo de duração de cada nota musical












| | | | | | | | |
|--------------|-----|---|---|---|----|----|----|
| Semibreve | o = | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 |
| Minima | ♩ = | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | |
| Seminima | ♪ = | 2 | 4 | 8 | 16 | | |
| Colcheia | ♫ = | 2 | 4 | 8 | | | |
| Semicolcheia | ♬ = | 2 | 4 | | | | |
| Fusa | ♭ = | 2 | | | | | |

Fonte: (BONA,2004)

Cada nota possui uma respectiva pausa (o momento em que a música fica em silêncio), sendo ,cada pausa exclusiva de cada nota. Na música existe sons que são mais distantes e sons mais curtos e quando não se ouve o som por um instante, é quando há um silêncio. De acordo com [22].

“(…) em música existem sons longos e sons breves. Há também momentos quando se interrompe a emissão do som: os silêncios. (...) A duração é a maior ou menor quantidade de um som. A relação entre durações do sons define o ritmo [22] (...)”.

Figura 16: tempo de duração das nota musical

| NOMES | VALOR | FIGURA | PAUSA |
|--------------|-------|---|---|
| Semibreve | 4 |  | — |
| Mínima | 2 |  | — |
| Semínima | 1 |  |  |
| Colcheia | 1/2 |  |  |
| Semicolcheia | 1/4 |  |  |
| Fusa | 1/8 |  |  |
| Semifusa | 1/16 |  |  |

Fonte://gracieducacaomusical.blogspot.com/2018/01/figuras-musicais-e-pausas.html

2.2.2.3 – Claves

Mostrar a posição da nota ao lermos a partitura, sinalizando a altura da música e sendo uma das chave principal da partitura. Essas claves se diferem em quatro tipos como:

I) Sol – escrita na segunda linha pentagrama olhando de baixo para cima e conhecida como Sol-3. Além desses aspectos que ela representa, ela é utilizada para sons agudos, como: instrumentos agudos (trompete) e vozes agudas (soprano), (DREHMER,2014).

Figura 17: clave de sol-3



Fonte:www.pt.wikipedia.org/wiki/Clave_de_sol

II) Fá – a nota está situada entre os dois pontos e pode ser identificada na terceira ou na quarta linha, mas o uso com frequência é na quarta linha, sendo, o Fá-2 para instrumentos graves (baixo) e vozes graves (barítono). De acordo com [23].

“(...) a linha de referência é indicada pelos pontos (dois) e assume a nota Fá-2. Esta pode ser escrita na terceira ou quarta linha da partitura; onde a posição mais frequente é a

quarta linha. Com esta configuração, a nota Dó-3 (ou Dó central do piano) ocupa a primeira linha suplementar superior. Por esta razão, costuma-se dizer que a clave de sol começa onde a de fá termina. Nesta clave, as notas abaixo da linha central da partitura são os baixos fundamentais ou contrabaixos maiores.

Esta clave é utilizada na escrita da mão esquerda dos instrumentos de teclado, instrumentos de registro grave, como o violoncelo, o contrabaixo, o fagote, o trombone, a tuba e o eufônio em Dó bem como as vozes masculinas (tenor, barítono e baixo) [23] (...)

Figura 18: clave Fá-2



Fonte: www.pt.wikipedia.org/wiki/Clave_de_f%C3%A1

III) Dó – a nota está situada no meio da clave na terceira linha, conhecida como dó central (Dó3), onde, ela é mais usada. Podemos encontrar essa nota em instrumentos agudos (trombone) e vozes agudas (soprano). De acordo com [23].

*“(...) a **clave de dó**, também chamada de **mesoclave**, define a altura da nota **dó** e é indicada pelo centro da figura (o encontro entre os dois cês invertidos). Originalmente a clave de dó foi criada para representar as vozes humanas. Cada voz era escrita com a clave de dó em uma das linhas. O alto era representado com a clave na terceira linha, o tenor na quarta linha e o mezzo soprano era representado com a clave de dó na segunda ou primeira linha da pauta. Este uso se tornou cada vez menos frequente e esta clave foi substituída pelas de sol para as vozes mais agudas e a de fá para as mais graves.*

Hoje em dia, a posição mais frequente é a mostrada na figura, com o dó na terceira linha, representando uma tessitura média, exatamente entre as de sol e fá. Um dos poucos instrumentos a utilizar esta clave na sua escrita normal é a viola. Esta clave também pode aparecer ocasionalmente em passagens mais agudas do trombone. Seu uso vocal ainda ocorre quando são utilizadas partituras antigas [23], (...).”

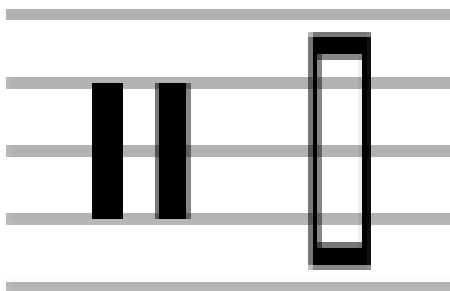
Figura 19: clave de Dó



Fonte: www.pt.wikipedia.org/wiki/Clave_de_d%C3%B3

IV) Percussão – onde não tem altura definida, sendo, que esse instrumento é o de percussão (bateria). A bateria possui dois tipos de desenhos **um** sua clave, conforme indica na figura 20, [23].

Figura 20: clave de percussão (bateria).



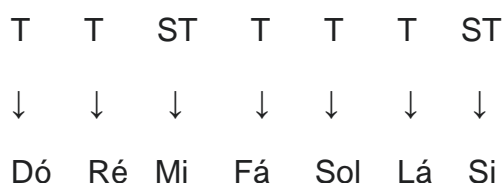
Fonte: www.wikiwand.com/pt/S%C3%ADmbolos_da_not%C3%A7%C3%A3o_musical_moderna

2.2.3 – Intervalos Musicais

É a “distância” entre as notas musicais, sendo, que não podemos esquecer que o início desses intervalos é através da escala diatônica maior (escalas que tem um som

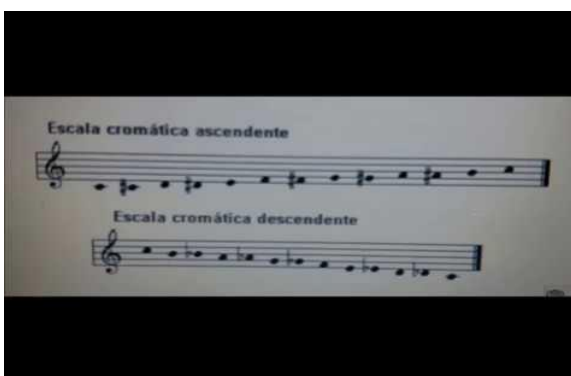
agradável e números inteiros em relação as frequências das notas e possuir sete notas) de “dó” natural (dó,ré,mi fá,sol,lá e si), [24].

Esses intervalos também estão relacionados ha altura entre a distância de cada nota que é chamado de tom e semitom, sendo, que o “tom” é a soma de dois semitom. Podemos citar as notas Mi→Fá e Si→dó , ocorrendo intervalos de semitom e Dó→Ré e Fá→Sol , intervalos de 1 tom. Para entendermos melhor, podemos reescrever esses intervalos maiores através do seguinte esquema:



Não finalizamos por aí, como foi falado no tópico anterior, onde os intervalos entre as notas podem ser chamado de “tom” e “semitom”. Esses intervalos também podem simbolizar o sustenido (#) e bemol (b), onde, o sustenido apresenta intervalos ascendentes (mais grave para o mais agudo) e o bemol apresenta intervalos descendentes (mais agudo para o mais grave) [24]. Sendo assim, a escala diatônica tem uma ampliação fenomenal criando a escala cromática (escala com 12 notas e intervalos de semitom), que segue no seguinte esquema:

Figura 21: escala cromática ascendente e descendente



Fonte: www.google.com/search?q=escala+crom%C3%A1tica+descendente&tbm=isch&ved=2ahUKEwi7uM_SqZ37AhVdrpUCHTKDC4IQ2-cCegQIABAA&oeq=escala+crom%C3%A1tica+des&gs_lcp=CgNpbWcQARgAMgUIABCABDIGCAAQCBAeOgQIIXAnOgQIABBD0gQIABAEULEJWPEOYMAkaABwAHgAgAGgAYgB4AWSAQMwLjWYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWItZ8ABAQ&scIent=img&ei=Z6JpY_voDt3c1sQPsoaukAg&bih=732&biw=1440#imgrc=z8rjAswUEzHy7M

Os intervalos harmônicos acontecem quando tocamos mais de uma nota simultânea formando o acorde (junção de notas através do 1º, 2º e 3º grau recebendo nome de tríade – formação de acorde mais simples), **onde** esse som faz harmonia para os nossos ouvidos no momento das execuções.

“(...) quando duas notas são executadas ao mesmo tempo, temos um intervalo harmônico, mas, quando tocadas separadamente, o intervalo é melódico. Assim, por exemplo, se você fizer um acorde, estará executando as notas ao mesmo tempo (e produzindo intervalos harmônicos entre elas). Caso você toque a melodia de uma música, estará executando intervalos melódicos[24] (...)”

2.2.4 – Campo harmônico

É o conjunto de acordes que é formado a partir de uma escala musical. Essa escala contém sete acordes diferentes e esses conjuntos de notas para formar os acordes, segue o padrão da escala diatônica da escala cromática. Esses acordes traz harmonia para a escala, sendo , que através desse “entrosamento” entre os acordes pode se criar uma melodia musical. Apesar do campo harmônico trazer um som interessante, podemos definir a tonalidade da música [25].

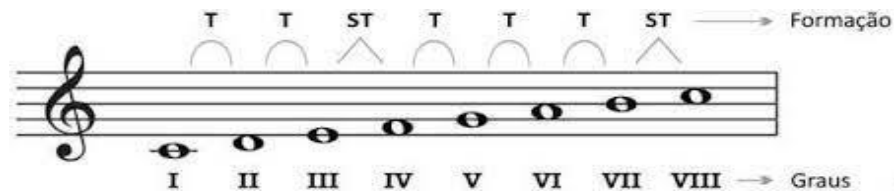
Essa estrutura musical não necessita nós “fixar” na mente cada modelo. O correto é **nós** entender o processo de criação para aplicar em qualquer tonalidade.

“(...) não é preciso decorar o Campo Harmônico de cada tonalidade. O ideal é compreender como os acordes se formam a partir de uma escala para aplicar esta lógica em qualquer Tom. Neste contexto da harmonia tonal, o processo usado para a correta formação dos acordes é a sobreposição de terças [25] (...)”.

O campo harmônico se divide em alguns modelos básicos:

I) Maior natural – é formado por sete graus, sendo, 5 tons (I → II , II → III , IV → V , V → VI e VI → VII) e 2 semitons (III → IV e VII → I), [25].

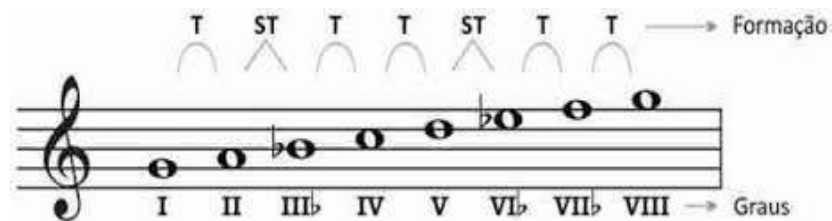
Figura 22: formação da escala maior natural



Fonte: <https://blog.opus3ensinomusical.com.br/escala-maior/>

II) menor natural – é formado pro sete graus, sendo 5 tons (I → II , III → IV , IV → V, VI → VII e VII → I) e 2 semitons (II → III) , V → VI) , [26].

Figura 23: formação da escala menor



Fonte: <https://blog.opus3ensinomusical.com.br/escala-menor-natural/>

Se eu pegar o VI^o grau do campo harmônico maior natural, eu vou ter a relativa menor do acorde. Se eu pegar o III^o grau do campo harmônico menor natural, eu vou ter a relativa menor do acorde.

3 - Fundamentos teóricos da música Pitágoras

Pitágoras nasceu 570 a.c na Ilha Grega de Samos ,onde possuía uma formação acadêmica de filosofia ,matemática e astronomia. Teve uma boa contribuição para a música usando a matemática e física, onde, ele tensionou uma corda e percebeu que o som em vários lugares era diferente, onde, deu origem a escala tonal. De acordo com [27].

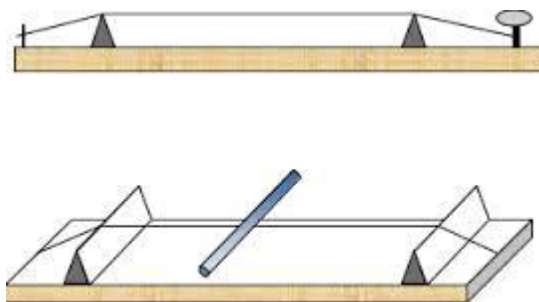
“(...) pitágoras nasceu na ilha grega de Samos em 570 a.C. e faleceu por volta de 496 a.C. O pensador grego, além de filósofo e exímio matemático e astrônomo, deixou significativas contribuições para a Música ao descobrir

*relações matemáticas entre os sons emitidos por cordas tensionadas que deram origem a uma nova escala tonal grega. Foi na **Magna Grécia**, região onde hoje está o território italiano, que o pensador antigo fundou a sua escola e passou boa parte de sua vida [27] (...)*”.

Com isso, Pitágoras criou um protótipo chamado de monocórdio onde fez vários testes que relacionava o tamanho da corda e o som que era produzido, onde, ele utilizava a relação de números inteiros.

Depois que Pitágoras fez teste no monocórdio, ele percebeu que ao pressionar a $\frac{1}{2}$ do tamanho total da corda o som emitido era oitavado ao som da corda sem tocá-la. Ao pressionar a $\frac{2}{3}$ do tamanho total da corda o som emitido é a quinta acima e ao pressionar a $\frac{3}{4}$ do tamanho total da corda o som ouvido era a quarta acima. Esses são os intervalos descoberto por Pitágoras.

Figura 24: monocórdio de Pitágoras



Fonte: matrix.fis.ucm.es/phystorm/experimentos-en-casa/101expcasacategory/expdinamicasubcategoria/96-elmonocordio

Depois de escrever sobre descoberta de Pitágoras , considerando o comprimento da corda $1, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{1}{2}$, as frequências das notas vai se proporcionar para $1, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, 2$ que é conhecido nas notas por nome “dó, fá, sol e dó oitavado”. Quando pegamos a relação 4^0 e 2^0 , percebemos que chegamos nós mesmos intervalo de quinta. A relação 2^0 e 3^0 , notamos que chegamos nós intervalo de oitavas. Essa escala pitagórica foi utilizada durante toda a Idade Média, mas sofreu uma alteração no século XVI.

Como os intervalos se repetem em quinta, e $\frac{3}{2}$ é meu valor da frequência repetida, chamamos uma nota com frequência (f) e (n) de números de repetição, então a nota reveladora $f\left(\frac{3}{2}\right)^n$, então, a oitava representa a frequência número 2, isto é, que não há equivalência entre os intervalos de quinta e do intervalo de oitava, sendo, n o número repetições. Podemos dizer sobre 2^n , que é um método especial nas abordagens. Então $f\left(\frac{3}{2}\right)^n \neq 2^n$.

3.1– Inícios dos Modos gregos

Essa parte da música é muito estudada pelos músicos do mundo. Ele vai **no** trazer uma sonoridade muito diferente (específico) para cada modo nos trará uma sensação diferente no que costumamos a sentir na escala tradicional. Afinal, o que são MODOS GREGOS? Os modos gregos é uma forma de escrever a escala maior natural possuindo sete modelos diferentes [22].

Pitágoras, um grande matemático, filósofo, conseguiu organizar as escritas musicais usando a matemática, onde, atribuiu variação de medidas para se afinar um instrumento com sucesso (referência 28). Na Grécia, foram desenvolvidos “modos” a partir das escalas naturais, onde, essas escalas receberam o nome da própria cidade (Jônio, Dórico, Frígio, Lídio, Eólico). Cada escala possui seu som característico. De acordo com [28].

“(…) Na Grécia antiga, foram desenvolvidas, a partir das sete notas naturais, diversas “escalas” ou modos musicais que receberam os nomes das regiões da Grécia onde eram mais familiares, por se adaptarem às suas tradições culturais e estéticas (Jônio, Dórico, Frígio, Lídio, Eólico). Cada uma destas escalas possuía um sabor harmônico diferente que evocava diferentes sensações em quem as escutava [28] (…)”.

Ao passar do tempo, o papa Gregório I oficializou essas escalas como modos musicais: Jônio, Dórico, Frígio, Lídio, Mixolídio, Eólico, Lócrio. Com isso, esse modo

começou a ser usado bastante pela igreja católica e os demais povos, causava sensações diferentes em cada fiéis em cada etapa da missa. De acordo com [28].

“(…) Mais tarde, durante a idade média, a liturgia católica, através do Papa Gregório I, adaptou estas formas de estruturação musical e estabeleceu sete modos musicais: Jônio, Dórico, Frígio, Lídio, Mixolídio, Eólio e Lócrio. Assim, a música litúrgica deste período usava modos específicos de acordo com a sensação ou estado mental que se queria despertar nos fiéis em cada parte de uma cerimônia. Por isso, os modos são conhecidos também como modos gregorianos (em referência ao Papa Gregório I) e usados no chamado canto gregoriano [28] (…).”

Os modos possuem em suas escalas, digitações diferentes e ponto peculiar em cada uma, onde, vamos explica-las. Essas modos é referente a escala de Dó.

I) Jônio – esse modo é simplesmente a escala maior natural, onde, possui as mesmas características [28].

Tabela 1: Modelo Jônio

| |
|------------------------|
| T T ST T T T ST |
|------------------------|

II) Dórico – segue a escala maior natural mas com ponto de partida diferente, onde, a sua sonoridade diferencial é o sexto grau [28].

Tabela 2: Modelo Dórico

| |
|------------------------|
| T ST T T T ST T |
|------------------------|

III) Frígio – segue a escala maior natural, mas com ponto de partida diferente, onde, onde sua sonoridade diferencial é o segundo grau [28].

Tabela 3: Modelo Frígio

| | | | | | | |
|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| T | ST | T | T | T | ST | T |
|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|

IV) Lídio – segue a escala maior natural com ponto de partida diferente, onde sua sonoridade diferencial é o quarto grau [28].

Tabela 4: Modelo Lídio

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| T | T | T | ST | T | T | ST |
|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|

V) Mixolídio – segue a escala maior natural com ponto de partida diferente, onde, sua sonoridade diferencial é o sétimo grau [28].

Tabela 5: Modelo Mixolídio

| | | | | | | |
|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| T | T | ST | T | T | ST | T |
|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|

VI) Eólio – segue a escala maior natural com ponto de partida diferente, onde , sua sonoridade diferencial é o sexto grau [28].

Tabela 6: Modelo Eólio

| | | | | | | |
|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| T | ST | T | T | ST | T | T |
|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|

VII) Lócrio – segue a escala maior natural com ponto de partida diferente, onde, sua sonoridade diferencial é o segundo e quinto grau [28].

Tabela 7: Modelo Lócrio

| |
|------------------------|
| ST T T ST T T T |
|------------------------|

Esse modo não é muito utilizado na música popular brasileira porque tem uma sonoridade que traz tensão ao nosso ouvido, é áspero, isso é por causa do quinto grau diminuto, sendo, que nossa cultura é de alegria folclórica [28].

4 - Fundamentos teóricos da Física na música

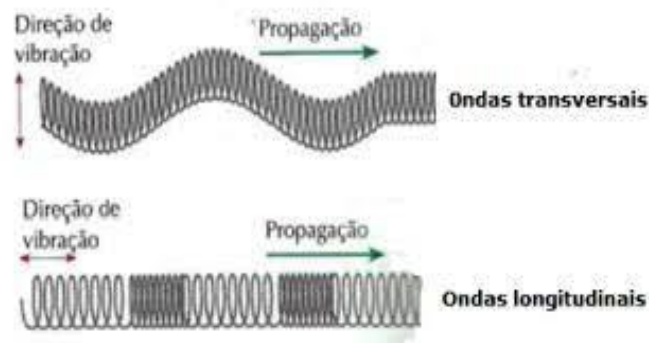
Para entendermos o funcionamento da música, precisamos entender as ondas sonoras e as características do som. Com isso, a música pode ser definida como a arte da união do som. Antes de falar da característica do som, não podemos deixar de falar em oscilações.

Em oscilações, podemos abordar as ondas, que podem ser definidas como: propagação em certo meio com transporte de energia sem o transporte de matéria (referência1). As ondas são divididas em dois tipos: onda eletromagnética, não precisa de um meio para se propagar, isto é, propaga no vácuo [1], ondas mecânicas, para [29], é a transferência de perturbação que necessita de um meio material sem transportar matéria.

Os instrumentos musicais produzem ondas mecânicas, onde, esse som pode ser produzido pelas vibrações das cordas (violão, baixo, guitarra, violino), da coluna de ar (instrumento de sopro), percussão (bateria, pandeiro). Essa propagação vai acontecer quase sempre através do ar.

Não podemos esquecer da direção da vibração da onda, que pode ser definida como: transversal, que ocorre perpendicularmente a propagação, longitudinal, ocorre paralelamente na mesma direção da propagação [1]. Na figura 25, **estará** a representação das vibrações transversal e longitudinal.

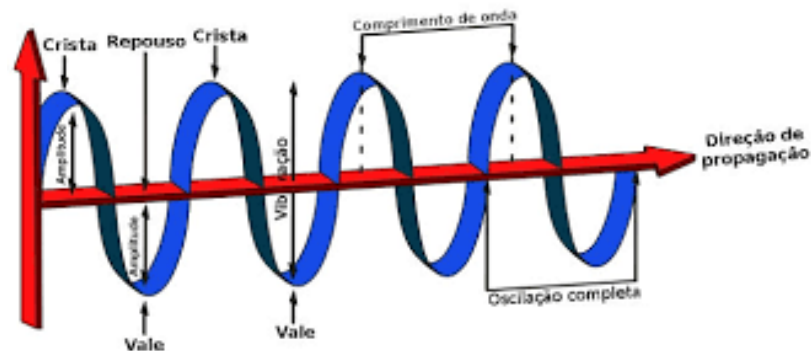
Figura 25: onda transversal e longitudinal



Fonte: www.osfundamentosdafisica.blogspot.com/2014/11

Esse segundo tipo é o mesmo comportamento das ondas sonoras, também é tridimensional, propaga em todas direções na mesma velocidade. A seguir, na figura 26, está uma representação de uma onda com suas características (amplitude, frequência, comprimento de onda, período, velocidade da onda, velocidade da onda esticada).

Figura 26: representação de uma onda



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-onda.htm>

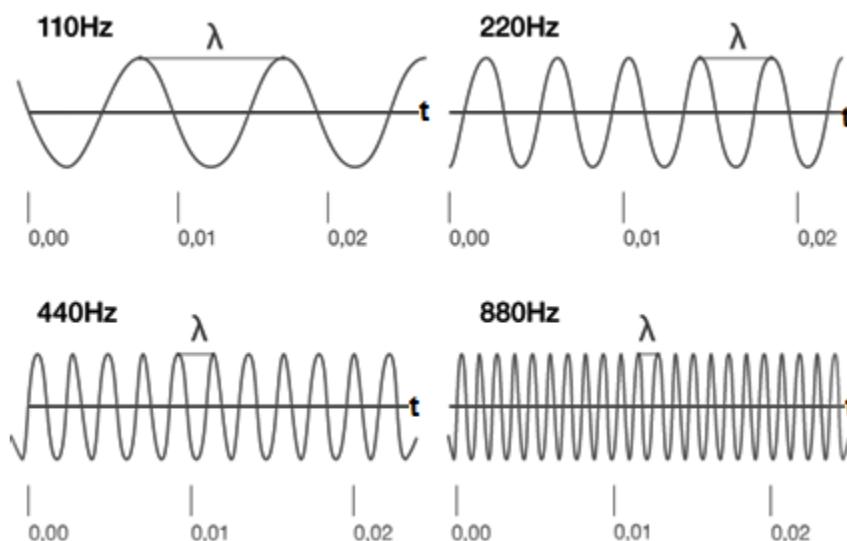
Como mencionado no tópico anterior, a onda sonora é mecânica, longitudinal e tridimensional, e possui algumas características, como:

I) Frequência (f) – é a relação entre o número de oscilações por um determinado intervalo de tempo, onde, conhecemos como hertz (Hz) (sendo o modo usual que está no sistema internacional) [1]. Conforme a expressão:

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

Na figura 27 podemos ver alguns valores de frequências para a nota musical Lá com quatro oitavas.

Figura 27: nota Lá com quatro oitavas

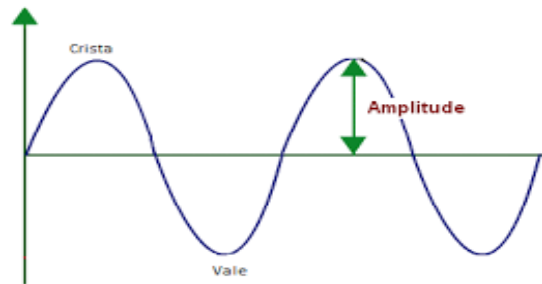


Fonte: espacientifico.weebly.com/tema-5—bloque-xi.html

II) Amplitude (A) – é o deslocamento máximo (crista) e o deslocamento mínimo (vale) a partir do ponto de equilíbrio, sendo, que esses deslocamento são simétricos e organizados. De acordo com [30], e podemos ver isso na figura 28.

“(...) é uma medida escalar negativa ou nula ou positiva da magnitude de oscilação temporal de uma onda, caso esta apresente alternâncias em torno do eixo [horizontal, usualmente] do tempo [referência 30] (...)”.

Figura 28: amplitude da onda



Fonte: <https://sites.google.com/site/solitonsufg/propriedades-das-ondas-lineares>

III) Comprimento de onda (λ) – é a distância entre dois pontos consecutivos (iguais), [30]. Podemos perceber isso na figura 29.

Figura 29: comprimento da onda

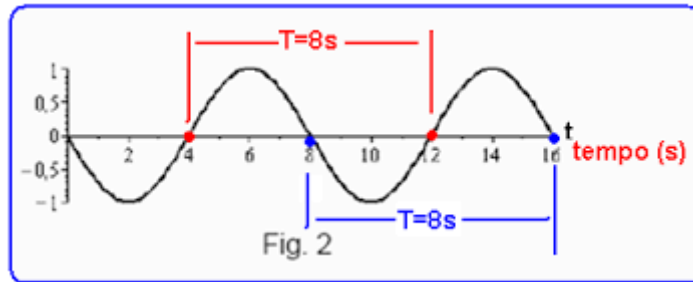


Fonte: brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas-periodicas.htm

IV) Período (T) – é o tempo máximo para completar uma oscilação, sendo assim, ocorre o inverso da frequência. Um exemplo pode ser visto na figura 30.

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

Figura 30: tempo da onda



Fonte: fisicaevestibular.com.br/novo/raciocinio-logico/ondulatória/resolucao-comentada-dos-exercicios-de-vestibulares-sobre-ondulatória/

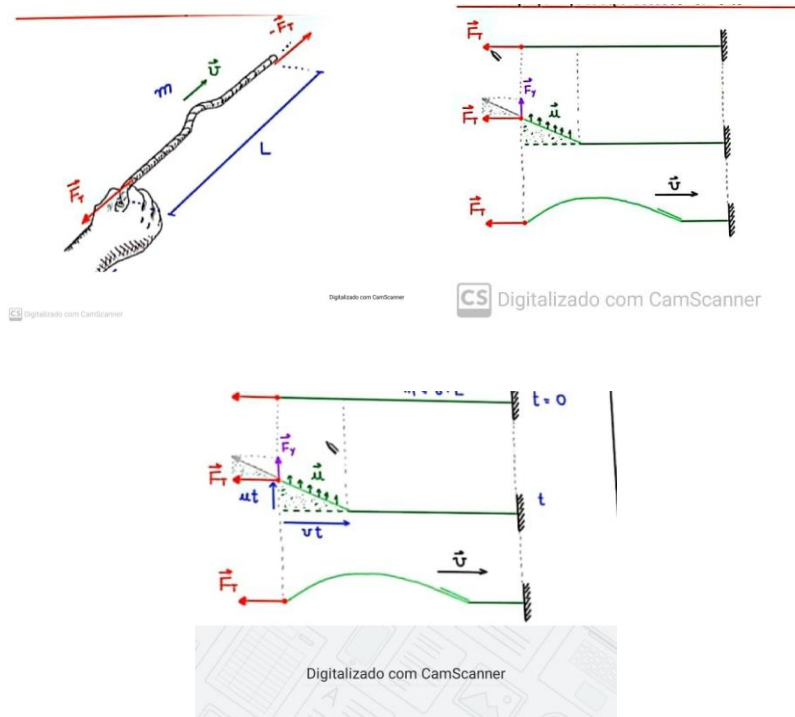
V) Velocidade da onda (v) – é a razão entre comprimento de onda e o período ou o produto do comprimento de onda e da frequência, [1].

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

O som se propaga no ar (20° C) com uma velocidade de aproximadamente 343 m/s, sendo, bem diferente quando ele se propaga em uma barra de cobre, é aproximadamente 3560 m/s.

VI) velocidade da onda na corda esticada (v_e) – como mencionado nos tópicos anteriores, a onda se propaga através de um meio com transporte de energia sem matéria, [1], mas antes de acontecer essa propagação, há uma velocidade na própria corda quando ela sobe, onde depende da raiz quadrada da força de tração em relação a densidade linear. Essa densidade está relacionada a massa da corda e o comprimento da corda, é conhecida como equação de Taylor. Podemos ver isso na figura 31.

Figura 31: velocidade da onda corda esticada



Fontes: www.youtube.com/watch?v=B9cxraJtx

I) Para um pequeno intervalo de tempo entre zero e t , onde, a matéria (corda) se desloca na vertical provocando um impulso (I), uma Força e uma velocidade (u), sendo, na horizontal haverá uma Força de tração (F_T) na corda, uma velocidade (v), onde só a transporte de energia sem a matéria [1]. Podemos observar na figura 31.

Comprimento da corda: $L = vt$

massa do trecho estdado: $\rho = \frac{m}{L} \rightarrow m = \rho L \rightarrow m = \rho vt$

II) O pulso na corda gera uma impulso (I) na vertical, que provoca uma quantidade de movimento (Q), que gera uma variação. Quando o tempo é nulo, não haverá a quantidade de movimento inicial na corda ($Q_{inicial} = 0$). Podemos observar na figura 31.

$$I_y = \Delta Q_{movimento}$$

$$I_y = Q_{final} - Q_{inicial}$$

$$I_y = Q_{final}$$

III) Para um intervalo de tempo muito pequeno, consideramos a Força na vertical constante, sendo assim, o impulso é o produto da Força na vertical com o tempo. A quantidade de movimento final é o produto da massa da corda e a velocidade na vertical (u). Podemos observar na figura 31.

$$I_y = F_y t$$

$$Q_{final} = mu \rightarrow m = \rho vt$$

$$Q_{final} = \rho vt u$$

IV) Conforme diz o primeiro, segundo e terceiro tópico, o impulso é igual quantidade de movimento final, e apresentando várias características.

$$I_y = Q_{final}$$

$$F_y t = \rho vt u$$

$$F_y = \rho v u$$

V) Usando a semelhança de triângulo.

$$\frac{F_y}{F_T} = \frac{ut}{vt} \rightarrow \frac{\rho v u}{F_T} = \frac{u}{v}$$

$$v^2 \rho = F_T$$

$$v^2 = \frac{F_T}{\rho}$$

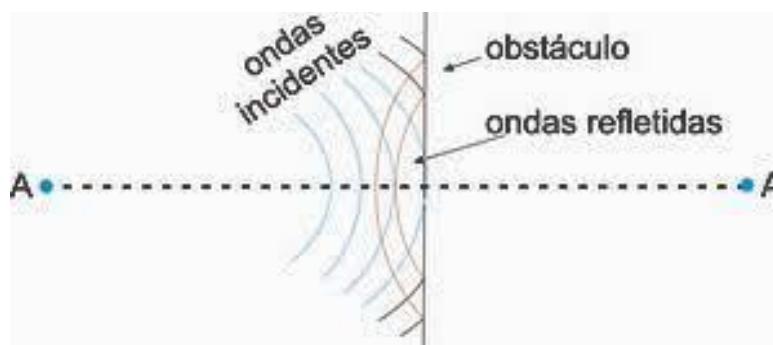
$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\rho}} \rightarrow \text{velocidade na corda esticada}$$

4.1 – Velocidade do som e sua propagação

A propagação é mais natural do som é no ar. Mas durante a trajetória terá obstáculo, mudança de meio, etc.

Quando o som encontra um obstáculo, vai acontecer uma reflexão dessa onda sonora (quando uma onda incidente choca no obstáculo, essa onda vai ser refletida com mesma velocidade, sendo, o ângulo de incidência igual ao ângulo refletido), [1]. Podemos verificar isso na figura 32.

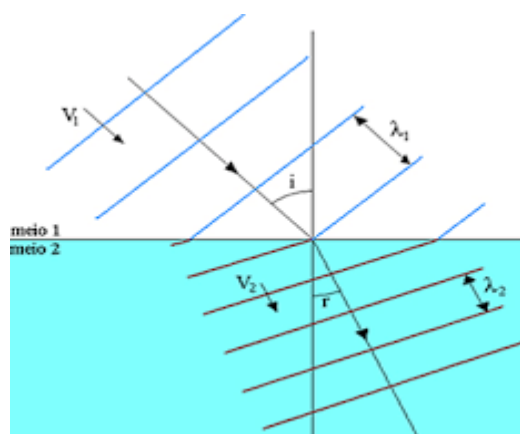
Figura 32: onda incidente e refletida



Fonte: blogdoenem.com.br/fenomenos-ondulatorios-fisica-enem/

Quando essas ondas mudam de meio de propagação, acontece o fenômeno de refração, isso é mais comum quando a mudança é do ar para água. Nesse processo, a onda sofre um pequeno desvio no ângulo refratado, alterando na velocidade, [1], esquema da refração pode ser visualizado na figura 33.

Figura 33: onda sofrendo refração



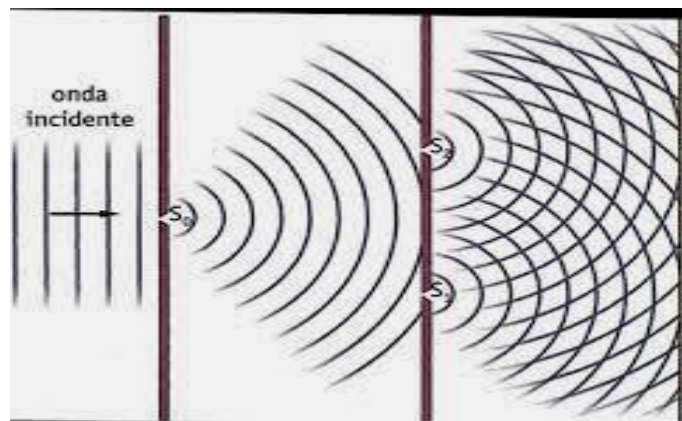
Fonte: blogdoenem.com.br/fenomenos-ondulatorios-fisica-enem/

Para calcular esse desvio (ângulo), o físico Snell, [1], desenvolveu uma lei que obedece a seguinte fórmula:

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{v_i}{v_r} = \frac{\lambda_i}{\lambda_r}$$

No tópico anterior, mencionamos a reflexão da onda, então, a onda também sofre difração, quando ela contorna o obstáculo, sendo, quanto menor o comprimento de onda, menor a capacidade da onda contornar o obstáculo e sua energia vai ser menor, mas quando há uma fenda de comprimento a , sendo, única ou dupla no obstáculo, ocorre o mesmo processo de difração. Quando uma onda atravessa uma fenda única, a intensidade depende diretamente do ângulo entre a onda e a fenda. Quando a onda atravessa uma fenda dupla, é quando a uma mistura de difração e interferência entre elas, [1]. Um esquema da difração pode ser visto na figura 34.

Figura 34: obstáculo com uma e duas fendas



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/experimento-das-duas-fendas.htm>

Quando tenho duas fontes de som, onde elas emitem ondas sonoras para um mesmo ponto, ocorrerá uma interferência, onde essas ondas podem ser somadas (construtivas) ou pode ser anuladas (destrutivas) [1]. Podemos calcular essa distância quando as fontes se encontrarem, como:

$$\Delta x = | x_1 - x_2 |$$

Na interferência construtiva, quando as ondas atingem o destino desejado, acontece a coerência de fase (chegada de duas cristas ou dois vales juntos), quando isso acontece, podemos calcular a distância através do encontro das fases, como:

$$\Delta x = n\lambda$$

Na interferência destrutiva, quando as ondas atingem o destino desejado, acontece a oposição de fase (quando chega uma crista e um vale juntos), a distância vai ser múltiplo de meio comprimento de onda ,como :

$$\Delta x = \left(n + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

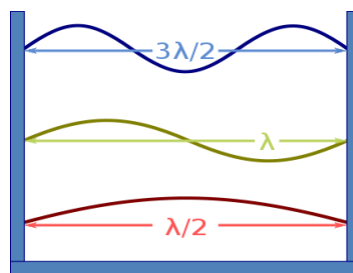
4.2 – Ondas estacionárias

São ondas que oscilam em certo tempo que produz uma superposição de duas ondas com a mesma frequência, mesma direção e sentido oposto. Essas ondas podem ser em tubos aberto e em cordas esticadas. De acordo com [35].

*“(…) são oscilações periódicas produzidas pela interferência entre ondas de frequência igual e que se propagam ao longo da mesma direção, mas em sentidos opostos. Quando uma onda incidente encontra-se com uma onda refletida por uma extremidade fixa de uma corda, formam-se ondas estacionárias, também conhecidas como **harmônicos**. As ondas estacionárias são assim chamadas pelo fato de **não se propagarem ao longo do espaço**. Suas oscilações ocorrem exclusivamente na direção perpendicular (90°) à direção das ondas que as produziram [35] (…)*”.

l) na corda - é quando uma corda fixa está presa e após se excitada, provoca padrões e superposições construtivas ao serem refletidas, onde, o harmônico fundamental é a base para a formação dos demais, onde possui uma menor frequência, [1]. Podemos visualizar os harmônicos na figura 35

Figura 35: harmônicos iniciais



Fonte: pt.wikipedia.org/wiki/Onda_estacion%C3%A1ria

Esse comprimento pode ser calculado através da fórmula:

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

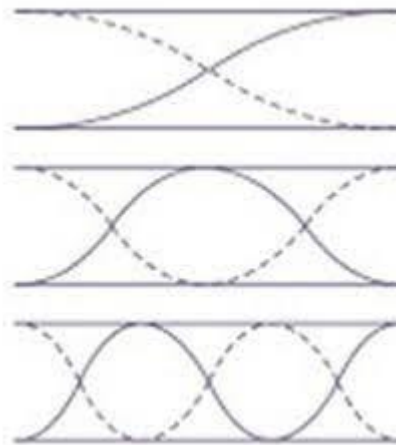
II) tubos abertos – são aqueles que tem as duas extremidades abertas, onde a crista e o vale se formam na abertura do tubo e os nós no interior do tubo, [1]. Podemos calcular de forma:

$$\text{fundamental} = \frac{\lambda}{2}$$

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

De acordo com figura 36.

Figura 36: tubo aberto



Fonte : <https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/ondas/tubos-sonoros/488>

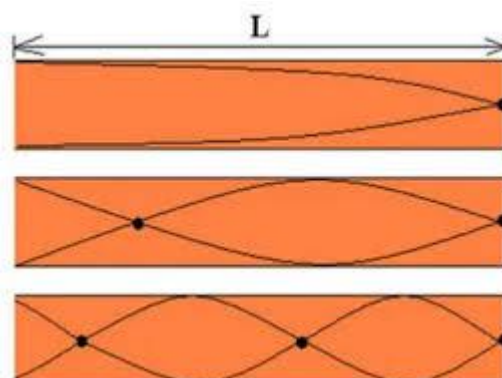
III) tubos fechado - são aqueles que possuem uma das suas extremidades fechada, os nós não são formados ao longo do tubo e na outra extremidade aberta forma uma crista e uma vale, [1], como:

$$\text{fundamental} = \frac{\lambda}{4}$$

$$L = n \frac{\lambda}{4}$$

De acordo com figura 37.

Figura 37: tubo fechado



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

5 – A anatomia da voz

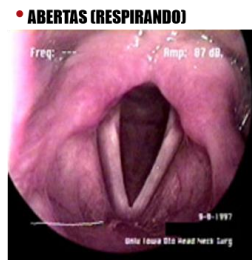
5.1 – Princípios básicos da fisiologia da voz no canto

O nosso corpo estão cheio de músculo, nervos, veias, artérias, etc. Mas quando falamos de voz cantada e voz falada, estamos no referindo a parte do pescoço, cabeça, pulmão e os músculos que o compõe.

A nossa voz é produzida na laringe, onde se encontra as pregas vocais, acontece quando expiramos o ar com a aproximação das pregas vocais (músculos localizado na laringe), e para finalizar esse processo, elas vibram junto com esse escape de ar e com a aproximação das pregas. De acordo com [31]. Podemos visualizar as pregas **cocais** abertas e fechadas nas figuras 38 e 39.

“(...) A voz é produzida na laringe, onde se encontram as pregas vocais, que no acto da fala se aproximam suavemente e realizam um movimento de vibração, graças à passagem do ar que vem dos pulmões durante o acto de expiração, sendo produzido o som [31] (...)”

Figura 38: pregas vocais abertas



Fonte : <https://sites.google.com/site/cantandocomexcelencia/aula-8-fisiologia-da-voz>

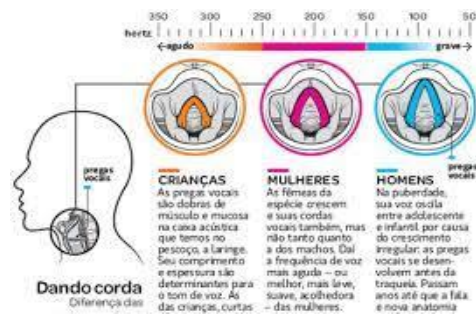
Figura 39: pregas vocais fechadas



Fonte : <https://sites.google.com/site/cantandocomexcelencia/aula-8-fisiologia-da-voz>

As pregas vocais masculinas, são mais grossas em espessura e maior em comprimento, flexível e um pescoço maior produzindo uma frequência de até 125 Hz e 150 Hz. Mas existem homens que possuem as pregas vocais finas e curtas. As pregas vocais femininas, são finas na espessura e menor no comprimento, mais flexível e um pescoço menor produzindo uma frequência de 150 Hz até 250 Hz e já nas pregas vocais de criança (masculino e feminino), são mais finas ainda na espessura e no comprimento, ainda mais flexível e com o pescoço ainda menor produzindo uma frequência de 250 Hz até 350 Hz, [32]. Podemos verificar essas diferenças na figura 40.

Figura 40: diferenças das pregas vocais



Fonte: super.abril.com.br/ciencia/o-que-faz-a-voz-ser-grossa-ou-fina/

5.2 – Princípios básicos da fisiologia do ouvido humano

Antes de nós percebermos o som que está sendo emitido até ele, essa frequência que chega ao nosso ouvido passa por um processo, isso acontece muito rápido, que nem percebemos esse “atraso”.

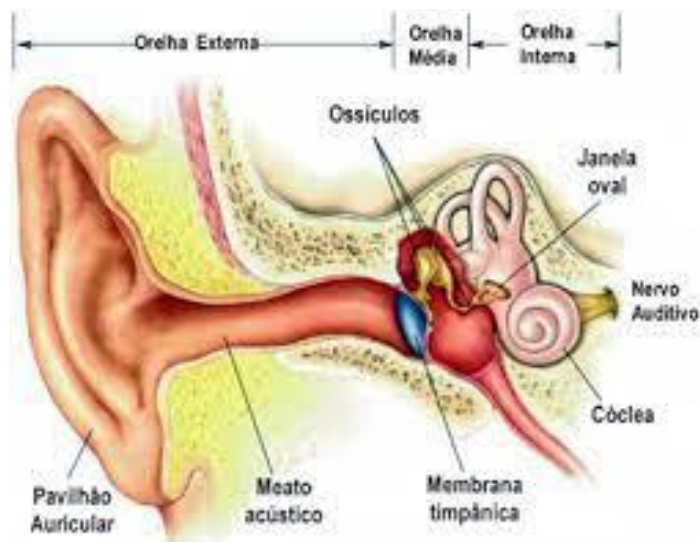
O som são ondas sonoras mecânicas que sofrem distorções no ar, isso, chega até os nossos ouvidos, que é composto por ouvido externo (canal auditivo), ouvido médio (martelo, bigorna e estribo) e ouvido interno (cóclea). Após essa onda entrar no canal auditivo e encontrar com o tímpano, onde, essa vibração do tímpano é na mesma frequência da onda, e quando essa vibração chegar nós três menores ossos do corpo, começando pelo martelo, em seguida pela bigorna e enfim o estribo – onde eles definem a intensidade do som. Após essa ampliação, as vibrações chegam até a cóclea, onde ela possui pelos e líquidos que facilita essa transmissão dessas vibrações que foram transformadas em impulsos nervosos até chegar no córtex (cérebro), que transforma esse impulso em mensagens fotográficas onde é deduzido qual a origem dessa onda. De acordo com [33], temos:

"(...) o som é uma onda mecânica produzida pela compressão e descompressão do ar, é captado por nosso ouvido - o qual é formado pelo ouvido externo, ouvido médio e o ouvido interno – decodificado e interpretado por uma região denominada córtex auditivo. Como as pessoas percebem o som? As ondas sonoras, após atingir a orelha, são encaminhadas para o interior do canal auditivo, local onde está localizada uma fina membrana que é chamada de tímpano. O tímpano é muito delicado e sensível, de modo que pequenas variações de pressão são capazes de colocá-

lo em estado de vibração. Essas vibrações são transmitidas a um conjunto de três pequenos ossos denominados de martelo, bigorna e estribo. As vibrações passam primeiro pelo martelo, que ao entrar em vibração aciona a bigorna e este finalmente faz o estribo vibrar. Durante esse processo as vibrações são ampliadas de forma que o ouvido passa a ter capacidade de perceber sons de intensidades muito baixas. Após serem ampliadas, as vibrações alcançam o ouvido interno, o qual possui forma de um caracol. Dentro dessa pequena estrutura existem pequenos pelos e um líquido que facilita a propagação do som. Após passar por essa estrutura, as ondas sonoras estimulam células nervosas que enviam, através de um nervo auditivo, os sinais ao cérebro humano. Já no cérebro esses sinais sofrem inúmeras modificações, que no final faz com que o ser humano tenha a percepção do som [33] (...).”

A fisiologia do ouvido humano pode ser visualizada na figura 41.

Figura 41: ouvido humano internamente



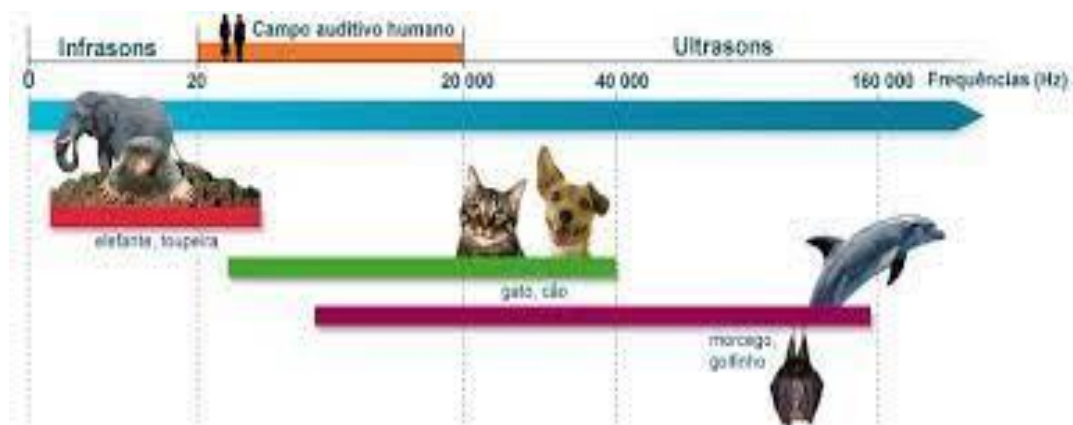
Fonte: ibb.unesp.br/Museu_Escola/2_qualidade_vida_humana/Museu2_qualidade_corpo_sensorial_audicao1.htm

O ouvido humano é capaz de escutar sons com frequência de 20 Hz à 20.000 Hz que é conhecido como sons audíveis. Um som com frequência abaixo de 20 Hz é chamado de infrasons, onde o ouvido humano não é capaz de perceber, mas alguns animais como: elefante, toupeira podem ouvir. E por fim, som acima de 20.000 Hz é

chamado de ultrasons, **onde**, só alguns animais podem escutar, como: golfinho, morcego. De acordo com [34], temos:

“(...) O ouvido humano consegue discriminar sons compreendidos entre 20 Hz (a frequência mais grave) e 20 000 Hz (frequência mais aguda). Por antropomorfismo, consideramos infrasons todas as frequências inferiores a 20 Hz, mesmo que certos animais, como a toupeira e o elefante, consigam ouvir sons 2 oitavas abaixo do ouvido humano; eles conseguem ouvir o som dum terramoto de apenas alguns Hz. Da mesma forma, classificamos de ultrasons todos os sons de frequência superior a 20 000Hz, apesar do cão e o gato ouvirem até 40 kHz e o morcego e o golfinho até 160kHz (respectivamente uma e três oitavas mais que o Homem) [34](...)”.

Figura 42: alguns tipos de frequências



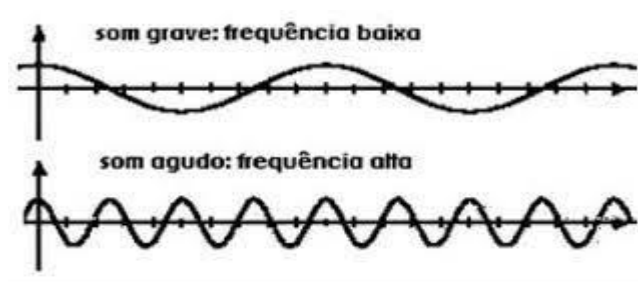
Fonte : www.cochlea.org/pt/som/campo-auditivo-humano

6 – Princípios básicos da acústica

A acústica é muito importante para a música, **onde** possui **muita** característica importantíssima que trará benefício para o músico. Portanto, iremos especificar essas características, sendo:

l) altura – estão ligados a frequência de ser agudo ou grave, quanto maior a frequência, mas agudo e quando menor a frequência, mas grave, [1].

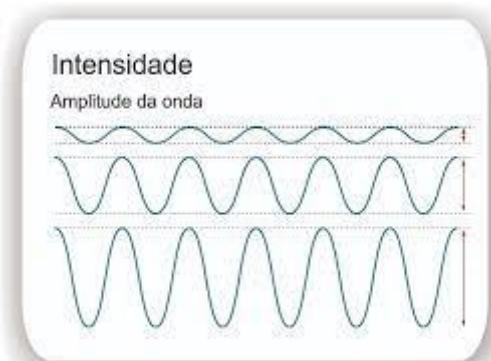
Figura 43: altura da onda



Fonte ; <https://espacoartemonica.wordpress.com/2018/05/28/altura-do-som/>

II) intensidade – está relacionado a amplitude da onda, quanto maior a amplitude, o som fica forte e quanto menor a amplitude, o som fica mais fraco, [1].

Figura 44: intensidade da onda



Fonte : <https://jacarandatrilhas.com/2014/07/um-carrossel-de-parametros/>

A intensidade é a energia que a onda gasta em uma determinada área em intervalo de tempo, quanto mais afastar a fonte sonora, mais fraca fica a intensidade, [35], que pode ser calculada através da fórmula:

$$I = \frac{Pot}{A_{es}}, \quad (w/m^2)$$

$$A_{es} = 4\pi r^2 \rightarrow \text{área da esfera}$$

Podemos achar o nível de intensidade sonora (NIS) para ver o quanto de energia está sendo gasto naquela determinada fonte sonora, usando a fórmula;

$$NIS = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

É medido em decibéis (*dB*) onde possui um referencial chamado limiar de audibilidade (I_0), que é o mínimo que nosso ouvido consegue captar. Em seguida, a figura 45, os níveis de intensidade em alguns locais.

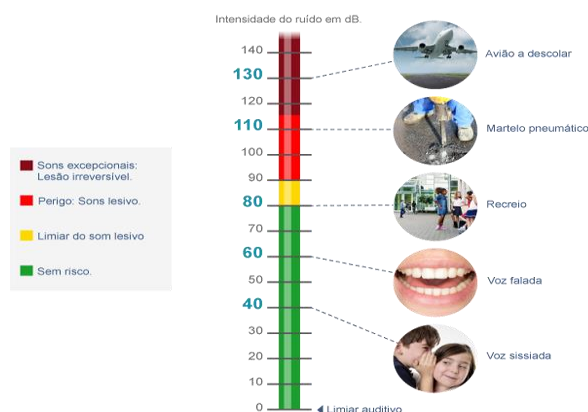
Figura 45: níveis de intensidade sonora

| SOM | Nível sonoro | SOM | Nível sonoro |
|----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| Silêncio absoluto | 0 dB | Aspirador de pó | 80 dB |
| Interior de uma igreja | 10 dB | Interior de fábrica têxtil | 90 dB |
| Conversa em voz baixa | 20 dB | Buzina de caminhão | 100 dB |
| Respiração ofegante | 30 dB | Britadeira | 110 dB |
| Baixo residencial à noite | 40 dB | Conjunto de rock | 120 dB |
| Automóvel bem regulado | 50 dB | Trovão | 130 dB |
| Conversa em voz normal | 60 dB | Decolagem de avião | 140 dB |
| Interior de um restaurante | 70 dB | Aterrisagem de avião a jato | 150 dB |

Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2010/06/intensidade-sonora.html>

O ouvido humano suporta uma intensidade saudável até 80 dB, passou desse valor começa prejudicar a audição, conforme a figura 46.

Figura 46: valor de intensidades saudáveis no ouvido humano



Fonte: <http://www.cochlea.org/po/ruído>

III) timbre – é a criação de frequências que se origina em ondas sonoras, que está associado a qualidade de som. Cada instrumento possui um Timbre (a forma das ondas diferentes, mesmos as frequências sendo iguais, [1].

Figura 47: variedade de timbre

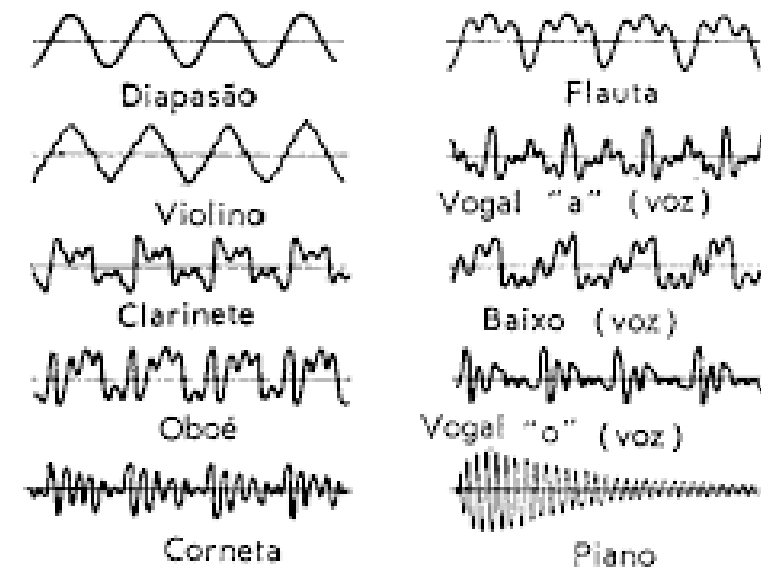
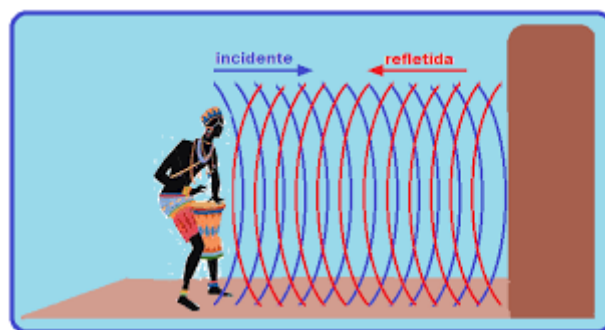


Imagem criada no site: <http://www.fonologia.org>

Fonte: www.fonologia.org/imagens/img_som_timbre.jpg

IV) eco – é quando a onda refletida tem o tempo suficiente para escutar o som original e a onda no mesmo comprimento [1].

Figura 48: som do eco



Fonte: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatória/acústica/ondas-sonoras/>

V) reverberação – quando o tempo de reflexão da onda não é o suficiente para escutar o som original [1].

Figura 49: som de reverberação

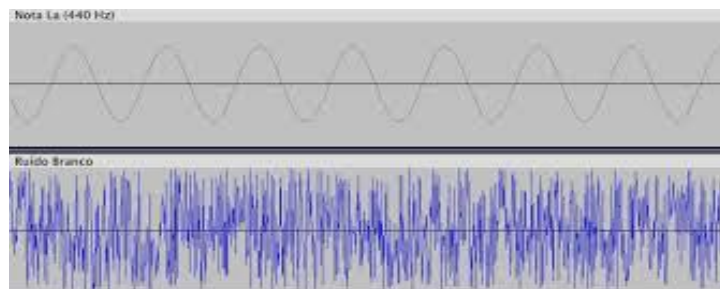


Fonte: <https://www.coladaweb.com/fisica/ondas/reflexao-som-eco-reverberacao>

6.1 – Qual a diferença de música e ruído?

O que diferencia a música do ruído é o período (tempo), o desenho da onda. A música é harmônica, as notas se conectam, onde, o ruído não tem nenhuma constância nas ondas [35].

Figura 50: música e ruído



Fonte : <https://musicasemsegredos.com/index.php/2022/09/29/elementos-basicos-da-musica-o-som-altura-volume-e-timbre/>

7- Considerações finais

A música sempre continuará se renovando a cada momento, ela desperta algo nas pessoas que não são explicáveis. Quando estamos tristes ela nos faz ficar alegre, se precisarmos de um ânimo ela desperta em nós, etc.

Ao descrever o processo histórico da relação entre a matemática, física e a teoria musical, foi possível perceber que, mesmo antes dos registros feitos por Pitágoras e outros estudiosos, a matemática sempre esteve presente, mesmo que implícita, no desenvolvimento e na evolução da arte musical. À medida que surgiam as descobertas das razões de números inteiros presentes na música e verificados no monocórdio, diversos conceitos como as consonâncias e dissonâncias passaram a ser mais bem compreendidos, além de que essas contribuições culminaram no desenvolvimento de uma escala que é amplamente utilizada atualmente, por permitir fechar um ciclo com doze semitons no intervalo de uma oitava, a escala Temperada.

Os conceitos da física explicaram como funciona a música na teoria e na prática, abordando vários conceitos detalhados para explicar o fenômeno acontecido, isso, prova que a física sempre “andou” junto com o descobrimento da música ao passar dos anos.

8 - Referências

- 1 – HALLIDAY, “fundamentos da física”, volume 2, editora LTC, 10 edição,2016.
- 2 – GUIZOT, “François, douze conférences” , 1994 – v3-5, página 14, clube musical ET litteraire de Montreal.
- 3 – ARTIGO “característica do som”, a transformada de Fourier, professor Luiz neto, graduado em matemática pela faculdade de filosofia e ciências e letras de santo André-SP.
- 4 – ARTIGO “série de Fourier e noções de teoria musical”, Eduardo H.M.brietzke, 2001-12-14.
- 5 – KILMER A.D. the musical instruments from and ancient mesopotanian music. Expedition magazine, penn museum,v.40,n2, p 12-19, 1998.
- 6 – ABDOUNUR, O, J. matemática e músoca: o pensamento analógico na construção de significados, 4^o ed. São Paulo: escrituras, 2006.
- 7 – COMITTI, G. music in greek and roman clture. Baltimore: johns Hopkins university press,1989.
- 8 – SOUZA, M. N.V, 2012. “a evolução da notação musical no ocidente da história do livro até a invenção da impressa”.
- 9 – COTTA, A.G. notas preliminares sobre o contachão acompanhado na prática musical luso-brasileiro dos séculos XVIII e XIX: o hino a são João. Permusi,UFMG,belo horizonte, 18, página 28 -34, 2008.
- 10 – REGINA, Roberto de “a musica no renascimento” In franco, Afonso Arinos de melo ET alli. O renascimento. Agir IMNBA, 1978, p. 177.
- 11 – PALISCA, 2001
- 12 – ARTIGO, “música 440 Hz” – conspiração para nos desafinar nos harmônicos naturais de 432 Hz, 2013-08-04.
- 13 – BONA, P. método completo para divisão, são Paulo, grafipress , 2004.
- 14 – MED. B, teoria musical, 4^oed. Brasília: bookman, 1986.
- 15 – PRIBERAM, DICIONÁRIO ONLINE, 2022-10-27

- 16 – RIEMANN, Hugo, L' harmonie simplifié ou théórice desfonctons tomales desaccoros. 1884, PP. 1.
- 17 – ARTIGO “avanço na música” , 2022-11-03.
- 18 – ARTIGO “ significados . com “,2022-10-30
- 19- ARTIGO “partituras gratuitas de música coral CPDL, biblioteca coral de domínio público.
- 20 – ARTIGO “curso de formação de regentes do maestro Ricardo pdmowski” , 2022-11-03.
- 21 – “harmonizando ideias”, 2012-03-11.
- 22 – MED. Bohumir “presidente da sociedade cultura Brasil”, república theca , 1996.
- 23 – DREMER, Julio “teoria musical avançada”, 2014-02-18, SI: - clube de autores.
- 24 – TEIXEIRA, Fábio; cifra club, 2021-09-15 – artigo, Intervalos musicais.
- 25 – LOBO, phillipe, “campo harmônico da escala maior natural” cifraclub, 2012-08-12.
- 26 – LEMES, Flavia “escala maior e escala menor- o que são e para que serve a .música e vinho, 2020-08-23.
- 27 – PORFÍRIO, Francisco, artigo “pitágoras” , 2022-11-10.
- 28 – LOBOS, PHILLIPE, “MODOS GREGOS”, CIFRA CLUB, 2013-04-09.
- 29 – SERWAY, R.A: jr, j.w.j. princípios da sabedoria, 3 ed , são Paulo: thomson, 2004. V. 2.
- 30 – GREF (grupo de relaboração de estudo da física) (2000), física 2: f´sica térmica e óptica, vol 2.
- 31 – “centro hospitalar e universitário de Coimbra” , otorrinolaringologista , 2013-04-16.
- 32 – BEHLAU, Mara, “presidente sociedade brasileira de fonaudiologia e ditetora do centro de estudos da voz “ , são Paulo ,. 2011-01-03.
- 33 – SANTOS, marco Aurélio da silva, “A AUDIÇÃO HUMANA Brasil escola”, 2022-01-15.
- 34 – PUJOL, rémy, “viagem ao mundo da audição”; colchlea, 2018-06-06.
- 35 – HELERBROCK, Rafael, “ondas estacionárias”: mundo educação, 2022.